



TUGAS AKHIR - MO 141326

ANALISIS RESPON GERAK STRUKTUR *JACKET FIXED PLATFORM* AKIBAT PENGARUH PENAMBAHAN BEBAN OPERASIONAL. STUDI KASUS: BEKAPAI BQ *PLATFORM*

DYAN HARYA PRADIPTA

NRP. 4311100093

Dosen Pembimbing:

Murdjito, M.Sc. Eng.

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015



FINAL PROJECT - MO 141326

ANALYSIS OF MOTION RESPONSE OF JACKET FIXED
PLATFORM STRUCTURE DUE TO EFFECT OF ADDITIONAL
OPERATIONAL LOAD. CASE STUDY: BEKAPAI BQ PLATFORM

DYAN HARYA PRADIPTA

NRP. 4311100093

Supervisors:

Murdjito, M.Sc. Eng.

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

Department of Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2015

ANALISIS RESPON GERAK STRUKTUR *JACKET FIXED PLATFORM* AKIBAT PENGARUH PENAMBAHAN BEBAN OPERASIONAL. STUDI KASUS: BEKAPAI BQ *PLATFORM*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DYAN HARYA PRADIPTA

NRP: 4311100093

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Murdjito, M.Sc.Eng. (Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. Rudi W. Prastianto, S.T., M.T. (Pembimbing 2)



SURABAYA, 5 AGUSTUS 2015

**ANALISIS RESPON GERAK STRUKTUR *JACKET FIXED PLATFORM*
AKIBAT PENGARUH PENAMBAHAN BEBAN OPERASIONAL. STUDI
KASUS: BEKAPAI BQ *PLATFORM***

Nama Mahasiswa : DYAN HARYA PRADIPTA

NRP : 4311100093

Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS

Dosen Pembimbing : Murdjito, M.Sc.Eng.

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRAK

Analisis perilaku gerak struktur *jacket fixed platform* yang dilakukan pada struktur Bekapai BQ *Platform* didasari oleh adanya isu ketidaknyamanan para personil yang bekerja di atasnya. Anomali pergerakan *sway* yang berlebih pada struktur ini diduga diakibatkan oleh penambahan beban operasional baru berupa *water tank* seberat 41.202 ton pada *cellar deck*. Analisis perilaku gerak struktur yang akan ditinjau adalah perubahan nilai periode natural dan defleksi pada *top side* setelah penambahan beban operasional. Analisis ini dilakukan sebagai dasar evaluasi dan perencanaan mitigasi untuk mengurangi gerakan struktur yang berlebihan. Respon gerak defleksi struktur didapatkan dari nilai stokastik oleh beban gelombang acak menggunakan respon spektra, berupa nilai signifikan respon gerak struktur oleh 8 arah pembebanan gelombang. Hasil yang didapatkan menunjukkan adanya perubahan nilai periode natural dari 1.819 detik menjadi 1.896 detik. Untuk perubahan defleksi struktur, dampak perubahan yang paling signifikan terjadi oleh arah pembebanan gelombang 0^0 (dari 0.7 cm menjadi 8 cm) dan 180^0 (dari 1.7 cm menjadi 2.2 cm). Bisa disimpulkan bahwa penambahan beban operasional ini memang benar menambah respon gerak struktur yang berakibat berkurangnya kenyamanan personil. Mitigasi yang direkomendasikan adalah dengan menambah kekakuan struktur berupa konfigurasi penegar baru untuk mereduksi nilai defleksi.

Kata Kunci—*respon gerak, respon spektra, defleksi, periode natural.*

**ANALYSIS OF MOTION RESPONSE OF JACKET FIXED PLATFORM
STRUCTURE DUE TO EFFECT OF ADDITIONAL OPERATIONAL LOAD.
CASE STUDY: BEKAPAI BQ PLATFORM**

Name : DYAN HARYA PRADIPTA
Reg. : 4311100093
Majoring : Department of Ocean Engineering FTK – ITS
Supervisors : Murdjito, M.Sc.Eng.
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRACT

Analysis of motion responses of structure will be performed on Bekapai BQ Platform structure based on discomfort issues from personnel who lived on this platform. Sway motion increase anomaly of this platform is assumed due to effect of a new additional operational load, a fresh water tank with 41.202 ton weight on cellar deck. Analysis of structure motion responses that will be performed are analysis of natural period and deflection increase on top side elevation by additional operational load. This analysis will be used for evaluation and mitigation planning purpose for reducing the motion responses. Deflection values of this structure are from stochastic value due to irregular wave by using spectra response method, will be shown with significant values of motion responses by eight direction of wave load. The result of this analysis are shown with increase of structure natural period, until 4.233% from natural period before an additional operational load was added. The deflection of the structure for significant responses occur by 00 and 1800 wave load direction, up to 22.727% and 91.25% from structure before an additional operational load was added. It can be concluded that because of new additional operational load there are increase of motion responses which made discomfort of personnel who lived on this platform. Recommended mitigation is to increase the rigidity of the structure in the form of a new stiffener configuration to reduce the value of deflection.

Keywords—*motion responses, spectra response, deflection, natural period.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis kepada ALLAH SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan lancar. Tugas akhir ini berjudul “Analisis Respon Gerak Struktur *Jacket Fixed Platform* Akibat Pengaruh Penambahan Beban Operasional. Studi Kasus: Bekapai BQ *Platform*”.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas akhir ini membahas tentang analisis terhadap perubahan respon gerak struktur *jacket fixed platform* yang mengalami penambahan beban operasional karena dirasa perubahan respon gerak tersebut membuat para personil yang bekerja di atas *rig* menjadi tidak nyaman.

Penulis menyadari dalam pengerjaan dan penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran sebagai bahan penyempurnaan pada laporan selanjutnya. Penulis berharap tugas akhir ini dapat mendukung kemajuan dunia pendidikan khususnya di bidang struktur lepas pantai.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 5 Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisa	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 <i>Jacket Fixed Platform</i>	8
2.2.2 Teori Pembebanan	9
2.2.3 Periode Natural Struktur	9
2.2.4 Dinamika Struktur	10
2.2.5 Teori Gelombang <i>Linier Airy</i>	14
2.2.6 Gaya Gelombang Pada Bangunan Laut.....	15
2.2.7 <i>Response Amplitude Operator (RAO)</i>	17
2.2.8 Spektrum Gelombang	18
2.2.9 Spektra Respon Gerakan di Gelombang Acak	19
2.2.10 <i>Dynamic Amplification Factor (DAF)</i>	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Metode Penelitian	21
3.2 Prosedur Penelitian.....	22

3.3 Data Struktur	23
3.4 Data Lingkungan.....	25
3.4.1 Arah Pembebanan	25
3.4.2 Data Gelombang	25
3.4.3 Data Arus	25
3.4.4 Kedalaman	25
3.4.5 Koefisien Hidrodinamika	26
3.4.6 <i>Current Blockage Factor</i>	26
3.4.7 Marine Growth	26
3.4.8 Data Angin	26
3.5 Pemodelan Struktur	26
3.5.1 <i>Layout</i> Penempatan <i>Water Tank</i> Pada <i>Cellar Deck</i>	27
3.5.2 Pemodelan Struktur Sebelum Ditambah <i>Water Tank</i>	28
3.5.3 Pemodelan Struktur Setelah Ditambah <i>Water Tank</i>	29
3.6 Verifikasi Model	30
3.6.1 Verifikasi Nilai <i>Selfweight</i> Struktur	30
3.6.2 Verifikasi Nilai <i>Unity Check</i> Kritis	30
3.6.3 Verifikasi Nilai Periode Natural Struktur	31
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Komparasi Awal	33
4.1.1 Komparasi Nilai <i>Selfweight</i> Struktur	33
4.1.2 Komparasi Nilai <i>Unity Check</i> Kritis	33
4.1.3 Komparasi Nilai Periode Natural Struktur	34
4.1.4 Komparasi Nilai <i>Centre of Gravity</i> (COG)	34
4.2 Penentuan Teori Gelombang	35
4.3 Variasi Karakteristik Gelombang.....	35
4.4 <i>Dynamic Amplification Factor</i> (DAF)	36
4.4.1 DAF untuk Model Sebelum Penambahan Beban Operasional	37
4.4.2 DAF untuk Model Sebelum Penambahan Beban Operasional	37
4.5 Respon Gerak Struktur Akibat Beban Gelombang Reguler	38
4.5.1 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 0^0	38
4.5.2 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 45^0	39

4.5.3 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 90^0	39
4.5.4 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 135^0	40
4.5.5 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 180^0	40
4.5.6 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 225^0	41
4.5.7 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 270^0	41
4.5.8 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 315^0	42
4.5.9 Respon Gerak Maksimum Struktur Tiap Arah Pembebanan	42
4.5.10 Respon Gerak Struktur akibat Gelombang Reguler Ekstrem pada Arah Pembebanan 0^0	43
4.6 Respon Gerak Struktur Akibat Beban Gelombang Acak.....	43
4.6.1 Spektrum Gelombang JONSWAP	44
4.6.2 Nilai Signifikan Respon Gerak Struktur Akibat Eksitasi Gelombang Acak	44
4.7 Komparasi dan Evaluasi.....	46
4.8 Rekomendasi Mitigasi.....	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Koefisien Inersia untuk Bentuk Sederhana.....	17
Tabel 2.2 Amplitudo dan Tinggi Gelombang pada Spektrum	18
Tabel 3.1 Data Gelombang.....	25
Tabel 3.2 Data Arus	25
Tabel 3.3 Kedalaman.....	25
Tabel 3.4 Data Angin	26
Tabel 3.5 Hasil Verifikasi Model Berdasarkan <i>Selfweight</i>	30
Tabel 3.6 Hasil Verifikasi Model Berdasarkan UC	30
Tabel 3.7 Hasil Verifikasi Model Berdasarkan Periode Natural.....	31
Tabel 4.1 Hasil Komparasi Model Berdasarkan <i>Selfweight</i>	33
Tabel 4.2 Hasil Komparasi Model Berdasarkan UC.....	34
Tabel 4.3 Hasil Komparasi Model Berdasarkan Periode Natural	34
Tabel 4.4 Hasil Komparasi Model Berdasarkan COG	34
Tabel 4.5 Data <i>Scatter</i> Periode dan Tinggi Gelombang pada Perairan Bepakai di Kedalaman 35 m	36
Tabel 4.6 Variasi Karakteristik Gelombang yang Dipakai Untuk Analisis Respon Gerak Struktur.....	36
Tabel 4.7 DAF Model Struktur Sebelum Penambahan Beban Operasional	37
Tabel 4.8 DAF Model Struktur Setelah Penambahan Beban Operasional	37
Tabel 4.9 Nilai Respon Gerak Maksimum Oleh Gelombang Reguler.....	42
Tabel 4.10 Nilai Stokastik Respon Gerakan Oleh Gelombang Acak	46
Tabel 4.11 Respon Gerak Struktur Maksimum Sebelum dan Setelah Mitigasi	49
Tabel 4.12 Periode Natural Struktur Sebelum dan Setelah Mitigasi.....	49
Tabel 4.13 COG Struktur Sebelum dan Setelah Mitigasi	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Water Storage Tank</i> yang ditambahkan pada <i>Platform BQ</i>	2
Gambar 1.2 Lokasi Penambahan <i>Fesh Water Tank</i> pada <i>Cellar Deck</i>	2
Gambar 2.1 Elemen-elemen pada <i>Fixed Jacket Structure</i>	8
Gambar 2.2 Balok Kantilever dengan (a) Beban Statis dan (b) Beban Dinamis	11
Gambar 2.3 Balok dengan (a) Beban Statis dan (b) Beban Dinamis	12
Gambar 2.4 Langkah-langkah dalam Analisa Dinamis	12
Gambar 2.5 Model Berkesinambungan (<i>continues</i>) dan Diskrit (<i>discrete-parameter</i>) pada Sebuah Balok Kantilever	13
Gambar 2.6 Model SDOF dan MDOF	13
Gambar 3.1 Alur Pengerjaan Tugas Akhir	21
Gambar 3.2 <i>Layout Cellar Deck</i>	24
Gambar 3.3 <i>Layout Main Deck</i>	24
Gambar 3.4 Arah Pembebanan Gelombang	25
Gambar 3.5 Lokasi Penempatan <i>Water Tank</i> pada <i>Cellar Deck</i>	27
Gambar 3.6 Model Struktur Bekapai <i>BQ Platform</i> Sebelum Penambahan <i>Water Tank</i>	28
Gambar 3.7 Model Struktur Bekapai <i>BQ Platform</i> Setelah Penambahan <i>Water Tank</i>	29
Gambar 4.1 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 0^0	38
Gambar 4.2 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 45^0	39
Gambar 4.3 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 90^0	39
Gambar 4.4 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 135^0	40
Gambar 4.5 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 180^0	40
Gambar 4.6 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 225^0	41
Gambar 4.7 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 270^0	41
Gambar 4.8 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 315^0	42
Gambar 4.9 Simulasi Respon Gerak Struktur Oleh Beban Gelombang Ekstrem Arah Pembebanan 0^0	43
Gambar 4.10 Spektrum Gelombang JONSWAP pada Perairan Bekapai	44
Gambar 4.11 Respon Spektra Struktur Arah Pembebanan 0^0	45
Gambar 4.12 Respon Spektra Struktur Arah Pembebanan 180^0	46

Gambar 4.13 Ilustrasi Arah Pembebanan pada Struktur dimana Terjadi Perubahan Defleksi paling Signifikan	47
Gambar 4.14 Ilustrasi Simulasi Mitigasi dengan Menambahkan Kekakuan	48
Gambar 4.15 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 0^0 Sebelum dan Sesudah Mitigasi.....	48
Gambar 4.16 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 180^0 Sebelum dan Sesudah Mitigasi.....	49

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	SACS <i>INPUT</i>
LAMPIRAN B	PERHITUNGAN MS. EXCEL

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

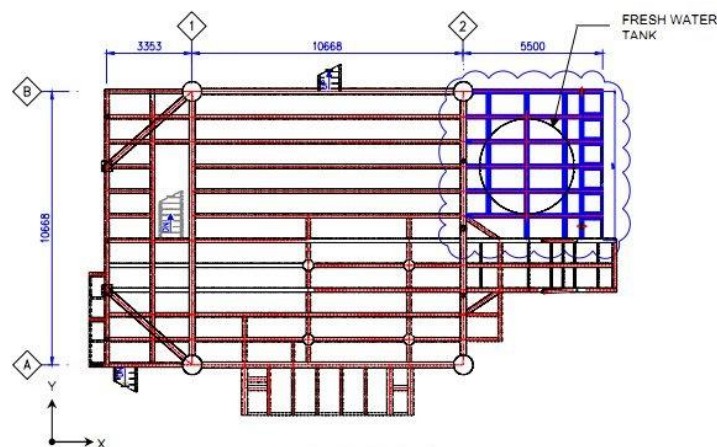
Ketergantungan manusia terhadap sumber daya alam minyak dan gas membuat teknologi eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas semakin berkembang pesat sejak mulai habisnya cadangan minyak dan gas di daratan, sehingga manusia mencari alternatif sumber minyak dan gas lainnya di lepas pantai. Kondisi lingkungan yang lebih berat mengharuskan manusia menemukan teknologi baru untuk keperluan eksplorasi dan eksploitasi di lepas pantai yang mempunyai beban lingkungan yang relatif lebih berat daripada di darat. *Fixed jacket platform* digunakan untuk mengeksploitasi minyak dan gas bumi pada perairan lepas pantai dangkal yang umumnya dipakai di perairan Indonesia. *Jacket Structure* (McClelland B., 1986) merupakan badan *jacket steel platform* yang sebagian besar berupa konstruksi *tubular* (pipa). Struktur *jacket* sebagian besar berada di bawah permukaan air atau hampir keseluruhan struktur terendam air hingga dasar laut. Fungsi utama struktur *jacket* adalah menopang bagian atas *fixed jacket platform* yang meliputi konstruksi geladak, fasilitas operasional dan produksi dalam proses eksplorasi dan eksploitasi hidrokarbon serta menahan beban-beban keseluruhan *fixed jacket platform* yang meliputi beban-beban lateral dan beban-beban aksial serta melindungi komponen-komponen yang selimuti struktur *jacket*.

Untuk menambah kuantitas produksi atau mengganti *equipment* yang rusak suatu anjungan perlu mengadakan penambahan dan penggantian *equipment-equipment* yang lama dengan yang baru dengan kapasitas yang lebih besar. Dampak penambahan dan penggantian *equipment* tersebut tentu akan sangat berpengaruh pada integritas struktur secara keseluruhan, mengingat struktur *jacket platform* mulanya didesain untuk menopang beban operasional mula-mula. Maka setelah penambahan dan pergantian komponen baru tersebut struktur *platform* perlu dianalisis ulang dengan cara disimulasikan kondisi pasca penambahan beban operasional, sehingga dapat dilakukan evaluasi dan *assessment* terhadap struktur tersebut .



Gambar 1.1 *Water Storage Tank* yang ditambahkan pada *Platform BQ* (PT. Paramuda Jaya, 1997)

Penambahan *equipment* yang serupa terjadi pada *Platform BQ* milik TOTAL E&P INDONESIA yang beroperasi di *field* Bekapai di Perairan Kalimantan Timur, yakni berupa penambahan *water storage tank* seberat 41.202 ton dan *deck extension* pada tahun 2013. *Platform* ini memiliki fungsi sebagai *living quarter platform*, tempat dimana para personil bermukim ini terletak pada koordinat $0^{\circ} 59' 56.2''$ Lintang Selatan dan $117^{\circ} 29' 56''$ Bujur Timur. *Platform* didukung oleh struktur *jacket* empat kaki yang berdiri tegak pada kedalaman sekitar 115 ft dan menopang 2 dek yaitu *cellar deck* pada EL + 40 ft dan *main deck* pada EL + 63,26 ft dari MSL. Setelah penambahan *equipment* tersebut tidak ada kerusakan pada struktur, artinya untuk masalah tegangan tidak ada masalah dan bisa dikatakan masih aman. akan tetapi menurut kesaksian para personil yang bekerja di atas *deck* struktur tersebut mengalami pergerakan *sway* yang tidak biasa daripada sebelum ditambah *equipment* baru. Pergerakan tersebut mengakibatkan berkurangnya kenyamanan para personil yang sedang bekerja dan berdampak pada berkurangnya produktivitas para personil, karena dianggap *platform* tersebut menjadi semakin rentan runtuh.



Gambar 1.2 Lokasi Penambahan *Fesh Water Tank* pada *Cellar Deck* (Sumber: Technip, 2013)

Itulah yang membuat penulis tertarik mengadakan penelitian tentang analisis respon gerak pada struktur tersebut setelah ditambahnya beban operasional, sehingga dapat dilakukan evaluasi dan komparasi pada *platform* sebelum dan sesudah ditambah beban operasional, apakah berdampak signifikan atau tidak serta digunakan sebagai acuan perencanaan mitigasi. Tugas akhir ini disusun dengan tujuan untuk menganalisis perilaku gerak struktur setelah ditambahnya beban operasional berupa *sway response* dengan variasi frekuensi/periode gelombang.

1.2 Perumusan Masalah

1. Apa dampak penambahan beban operasional terhadap respon gerak struktur Bekapai BQ *Platform*?
2. Berapa perubahan nilai kuantitatif respon gerak struktur Bekapai BQ *Platform* pada kondisi sebelum dan setelah ditambah beban operasional?
3. Bagaimana evaluasi & rekomendasi mitigasi yang disarankan untuk mengurangi respon gerak struktur setelah penambahan beban operasional?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui dampak penambahan beban operasional terhadap respon gerak struktur Bekapai BQ *Platform*
2. Menentukan perubahan nilai kuantitatif respon gerak struktur Bekapai BQ *Platform* pada kondisi sebelum dan sesudah ditambah beban operasional
3. Memberikan evaluasi & rekomendasi mitigasi yang disarankan untuk mengurangi respon gerak struktur setelah penambahan beban operasional

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan beban operasional pada perilaku gerak struktur Bekapai BQ *Platform*, serta untuk menentukan komparasi, evaluasi dan rekomendasi mitigasi yang diberikan pada *platform* untuk mengurangi respon gerak struktur yang berimbas pada ketidaknyamanan personil yang bekerja di atasnya.

1.5 Batasan Masalah

1. Analisis dilakukan pada struktur Bekapai *BQ Platform* milik PT. TOTAL E&P INDONESIA berjenis *living quarter platform* yang mengalami penambahan beban operasional berupa *water storage tank* seberat 41.202 ton
2. Pemodelan dan analisis dilakukan menggunakan bantuan *software SACS*
3. Analisis struktur berdasarkan kode standar API RP-2A WSD
4. Tangga, perpipaan dan peralatan kecil lainnya tidak dimodelkan, hanya dijadikan beban pada struktur
5. Menggunakan *wave frequency & period domain* dalam analisis respon gerak struktur
6. Respon gerak yang akan dianalisis adalah defleksi struktur saja
7. Defleksi yang ditinjau adalah defleksi pada *top side*

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang studi yang dilakukan, permasalahan, tujuan yang akan dicapai, manfaat, dan batasan-batasan masalah serta sistematika penulisan laporan yang dipakai.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisikan tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir. Dalam menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, penulis berpedoman pada beberapa penelitian tentang struktur bangunan lepas pantai yang pernah dilakukan. Selain itu juga berpedoman pada jurnal-jurnal internasional, literatur-literatur, buku, *codes* yang berkaitan dengan *offshore structure* sebagai dasar teori dalam tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan pemikiran dari keseluruhan penelitian yang meliputi pengumpulan data, pemodelan struktur dan beban. Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan *software SACS*. Selain itu, bab ini berisi metodologi

yang digunakan dalam proses analisis respon gerak pada objek struktur yang menjadi pokok bahasan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan pembahasan hasil analisis penelitian dalam tugas akhir ini. Bab ini membahas pengolahan data hasil dari output pemodelan hingga menghasilkan kesimpulan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan tugas akhir ini. Bab ini berisikan tentang tahap akhir dari penulisan tugas akhir, yang mana berisi tentang hasil akhir dari analisis yang telah dilakukan sesuai dengan permasalahan yang ada, serta beberapa saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penyempurnaan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Struktur *jacket* merupakan bentuk struktur terpancang (*fixed structure*) yang terdiri atas beberapa komponen utama:

1. *Deck*/ geladak yang berfungsi sebagai penunjang seluruh kegiatan, tempat fasilitas dan tempat bekerja para personel
2. *Template/jacket* yang berfungsi sebagai penerus beban baik beban vertikal dari geladak maupun beban lateral dari angin, gelombang, arus dan *boat impact* ke pondasi. *Jacket Structure* merupakan badan *jacket steel platform* yang sebagian besar berupa konstruksi *tubular* (pipa). Struktur *jacket* sebagian besar berada di bawah permukaan air atau hampir keseluruhan struktur terendam air hingga dasar laut. Fungsi utama struktur *jacket* adalah menopang bagian atas *fixed jacket platform* yang meliputi konstruksi geladak, fasilitas operasional dan produksi dalam proses eksplorasi dan eksploitasi hidrokarbon serta menahan beban-beban keseluruhan *fixed jacket platform* yang meliputi beban-beban lateral dan beban-beban aksial serta melindungi komponen-komponen yang selimuti struktur *jacket*.
3. Pondasi yang berfungsi untuk meneruskan beban dari *jacket* ke tanah

Di laut Indonesia yang paling sesuai adalah *jacket type fixed offshore platform*, karena kondisi laut yang umumnya dangkal dan beban dinamis (angin, gelombang, arus dan lain-lain) yang relatif tidak besar (Soegiono, 2003). Untuk menambah kuantitas produksi atau mengganti *equipment* yang rusak suatu anjungan perlu mengadakan penambahan dan penggantian *equipment-equipment* yang lama dengan yang baru dengan kapasitas yang lebih besar. Dampak penambahan dan penggantian *equipment* tersebut tentu akan sangat berdampak pada integritas struktur secara keseluruhan, mengingat struktur *jacket platform* mulanya didesain untuk menopang beban operasi mula-mula. Maka setelah penambahan dan pergantian komponen baru tersebut struktur *platform* perlu dianalisa ulang dengan cara disimulasikan kondisi pasca penambahan beban operasi, sehingga dapat dilakukan mitigasi kegagalan konstruksi setelah beban operasi yang baru ditambahkan.

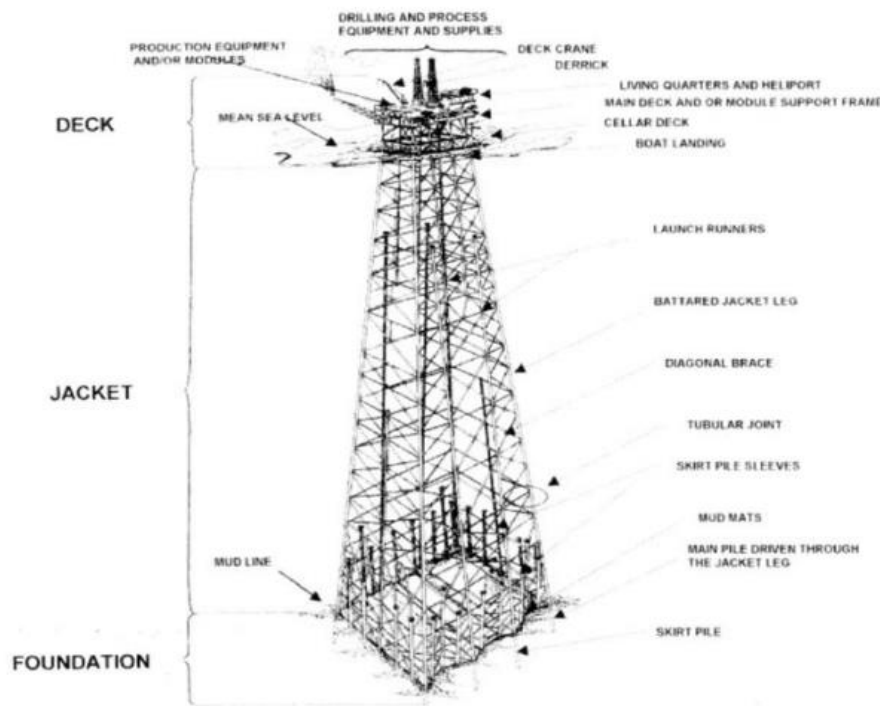
2.2 DASAR TEORI

2.2.1 JACKET FIXED PLATFORM

Struktur *Jacket* merupakan bentuk struktur terpancang (Fixed Structure) yang terdiri atas komponen utama yaitu *deck/top side, jacket* dan pondasi. Selain 3 bagian utama tersebut ada subkomponen dari masing-masing komponen utama dari *jacket* yaitu:

1. Subkomponen dari strukturgeladak antara lain : *skid beam*, plat geladak, dek *beam*, kaki geladak, *longitudinal trusses* dan *wind girders*.
2. Subkomponen dari *jacket* antara lain: *legs, horizontal* dan *vertical bracing, launch unner, launch trusses* dan *detail element (boat landing, barge bumpers* dan *walkways*).
3. Subkomponen dari pondasi antara lain : *skirt pile sleeves, skirt pile bracing, piles*.

Beberapa sistem *jacket* yang ada di dunia mempunyai perbedaan utama mengenai jumlah kaki, konfigurasi sistem *bracing* serta serta fungsinya. Jumlah kaki pada setiap *jacket* bervariasi dari 1 (monopod) hingga 8 kaki dengan membentuk konfigurasi tertentu. Demikian juga dengan sistem konfigurasi *bracing*nya dari yang sederhana sampai yang kompleks (McClelland,1986). Contoh konfigurasi anjungan terpancang terlihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Elemen-elemen pada *Fixed Jacket Structure* (Chakrabakti, 2005)

2.2.2 TEORI PEMBEBANAN

Dalam suatu proses perancangan bangunan lepas pantai, untuk menentukan kemampuan kerja suatu struktur akan dipengaruhi oleh beban yang terjadi pada bangunan tersebut. Sehingga perancang harus menentukan akurasi atau ketepatan beban yang akan diterapkan dalam perancangan.

Menurut (Soedjono, 1999), beban-beban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bangunan lepas pantai adalah sebagai berikut :

1. Beban mati (*Dead Load*)

Beban mati (*dead load*) adalah beban dari komponen-komponan kering serta beban-beban peralatan, perlengkapan dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu struktur, meliputi: berat struktur, berat peralatan dari permesinan yang tidak digunakan untuk pengeboran atau proses pengeboran.

2. Beban hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang terjadi pada *platform* atau bangunan lepas pantai selama dipakai/berfungsi dan tidak berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain.

3. Beban akibat kecelakaan (*Accidental Load*)

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak dapat diduga sebelumnya yang terjadi pada suatu bangunan lepas pantai, misalnya tabrakan dengan kapal pemandu operasi, putusnya tali tambat, kebakaran, letusan

4. Beban lingkungan (*Environmetal Load*)

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang biasanya digunakan dalam perancangan adalah : Beban Gelombang, arus, dan angin.

2.2.3 PERIODE NATURAL STRUKTUR

Diketahui bahwa pada umumnya segala benda di bumi ini mengalami peredaman, diantaranya gesekan antara dua bidang permukaan, gesekan dengan zat cair atau zat gas yang mengelilinginya, gesekan yang terjadi pada sambungan maupun gesekan antar molekul di dalam benda itu sendiri. Namun dalam analisa dinamik terdapat suatu pendekatan yaitu benda dianggap tidak terdam artinya gerakan benda tersebut tidak mengalami peredaman. Gerakan tanpa redaman itu disebut gerakan bebas (*undamped free vibration*).

Getaran bebas terjadi ketika struktur berosilasi dibawah aksi dari suatu gaya yang melekat dalam struktur tanpa adanya gaya luar. Kekuatan-kekuatan yang melekat tersebut muncul dan kecepatan awal (*initial velocity*) dan perpindahan (*displacement*) yang dimiliki struktur pada awal fase getaran bebasnya (Anderson, 2002). Sebagaimana diketahui periode getar struktur disebut sebagai properti dinamik dari suatu struktur.

Periode getar (T) adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi semula. Periode getar juga sering disebut secara lengkap dengan “periode getar alami struktur” (*natural fundamental period*), dimana istilah “alami” tersebut digunakan untuk menggambarkan setiap getaran untuk menekankan fakta bahwa hal tersebut merupakan properti alami dari struktur yang bergantung pada massa dan kekakuan yang bergetar secara bebas tanpa adanya gangguan dari gaya luar. Rumus periode natural adalah:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan:

T = Periode Natural

m = Massa Struktur

k = kekakuan

Namun, pada struktur nyata, perhitungan yang eksak mengenai periode getar struktur sangatlah sulit untuk dilakukan, karena periode getar adalah fungsi dari massa dan kekakuan seperti pada rumus di atas.

2.2.4 DINAMIKA STRUKTUR

Secara sederhana dinamik dapat diartikan sebagai variasi atau perubahan terhadap waktu dalam konteks gaya yang bekerja (eksitasi) pada struktur. Beban dinamis dapat berupa variasi besarnya (*magnitude*), arahnya (*direction*) atau posisinya (*point of application*) berubah terhadap waktu. Demikian pula respons struktur terhadap beban dinamik, yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan juga perubahan-waktu, atau bersifat dinamik. Berikut ini merupakan persamaan umum

kesetimbangan dinamika struktur, menggambarkan interaksi antara aksi beban luar dan reaksi struktur/sistem:

$$M\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P(t) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan:

M = massa struktur

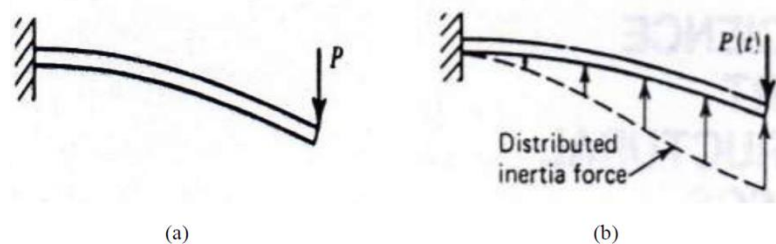
\ddot{u} = acceleration

c = damping

\dot{u} = velocity

k = kekakuan struktur

u = displacement/defleksi

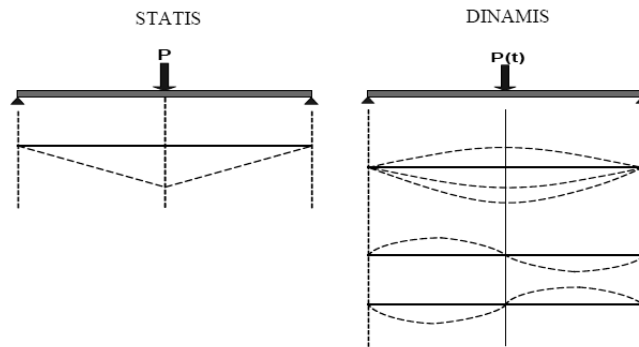


Gambar 2.2 Balok Kantilever dengan (a) Beban Statis dan (b) Beban Dinamis (Budio, 2012)

Pada gambar diatas terlihat balok kantilever dengan dua jenis pembebanan berbeda yaitu beban statis dan dinamis.

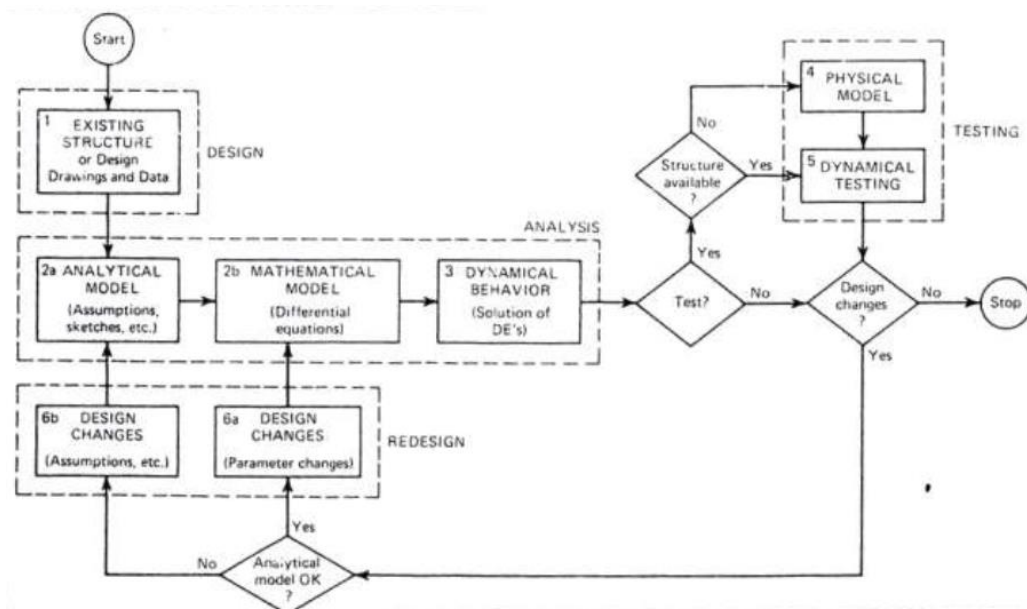
- gambar 2.2 (a) menunjukan balok kantilever dengan beban statis, responnya dipengaruhi oleh beban P .
- gambar 2.2 (b) menunjukan balok kantilever dengan beban dinamis atau beban yang bervariasi terhadap waktu $P(t)$.

Lendutan dan tegangan internal yang timbul dalam kasus beban statis hanya ditimbulkan langsung oleh beban P , sedangkan dalam kasus beban dinamis, percepatan yang dialami oleh balok akibat $P(t)$ menimbulkan gaya inersia yang terdistribusi pada seluruh bagian balok. Lendutan dan tegangan pada balok sangat dipengaruhi pula oleh gaya inersia yang ditimbulkan oleh massa balok ketika mengalami percepatan. Jika pengaruh gaya inersia yang terjadi sangat signifikan, maka perlu dilakukan analisa dinamis. Perbedaan respon untuk beban statis dan dinamis juga dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Balok dengan (a) Beban Statis dan (b) Beban Dinamis (Budio, 2012)

Dapat dikatakan bahwa langkah yang paling diperlukan dalam sebuah analisa dinamis adalah pemodelan matematis. Namun secara keseluruhan langkahlangkah dalam analisa dinamis dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Langkah-langkah dalam Analisa Dinamis (Budio, 2012)

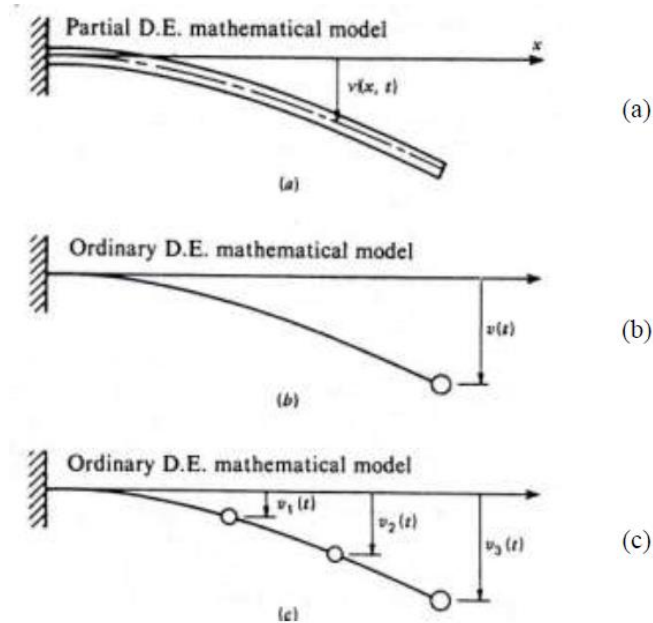
Model analitis terdiri dari:

- Asumsi sederhana yang dibuat untuk menyederhanakan suatu sistem.
- Gambar dari model analitis tersebut.
- Daftar parameter desain.

Model analitis terbagi dalam dua kategori dasar :

- Model berkesinambungan (continues model)
- Model diskrit (discrete-parameter model)

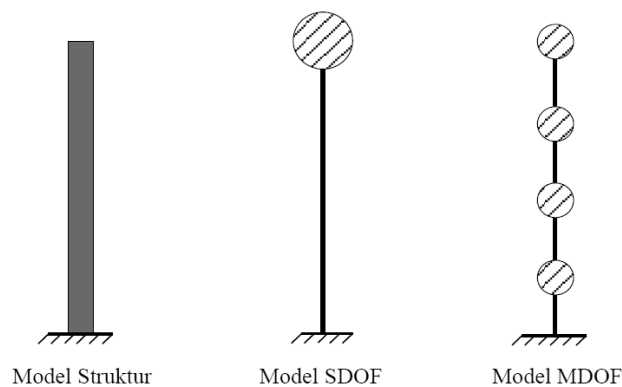
Model berkesinambungan (continues model) mempunyai jumlah derajat kebebasan (number of DOF) tak berhingga. Namun dengan proses idealisasi, sebuah model matematis dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan menjadi suatu jumlah diskrit.



Gambar 2.5 Model Berkesinambungan (*continues*) dan Diskrit (*discrete-parameter*) pada Sebuah Balok Kantilever (Budio, 2012)

Model berkesinambungan (*continues model*) pada gambar 2.5 (a) menunjukkan jumlah derajat kebebasan tak berhingga, model diskrit pada gambar 2.5 (b) dan (c) ditunjukkan dengan model massa terkelompok (*lumped-mass model*) dimana massa terbagi rata dari sistem dianggap sebagai massa titik atau partikel.

Berikut ini adalah ilustrasi gambar dari model struktur beserta model SDOF (*Single Degree of Freedom*) dan MDOF (*Multi Degree of Freedom*):



Gambar 2.6 Model SDOF dan MDOF (Budio, 2012)

2.2.5 TEORI GELOMBANG LINIER AIRY

Teori Gelombang Airy (teori amplitudo kecil) diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di dasar laut dan di permukaan air. Terdapat beberapa anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut:

1. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat masa konstan.
2. Tegangan permukaan diabaikan.
3. Gaya *coriolis* (akibat perputaran bumi diabaikan).
4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
5. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak rotasi.
6. Dasar laut adalah horizontal dan tetap sehingga kecepatan vertikal di dasar nol.
7. Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
8. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

Sifat dasar gelombang seperti panjang gelombang dan kecepatan dapat diperkirakan dengan teori gelombang amplitudo kecil (Airy). Namun, ketinggian gelombang pecah dan ketinggian *runup* gelombang harus diperhatikan batas amplitudonya. Sifat sifat dasar gelombang dinyatakan sebagai fungsi dari tinggi gelombang, periode dan kedalaman air. Berbagai karakteristik gelombang air dangkal yang diperoleh dari pendekatan pertama oleh gelombang amplitudo kecil.

(a) Ketinggian permukaan gelombang yang dihitung dari *still water level*.

$$\eta(x, t) = \frac{H}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan:

η : ketinggian permukaan (m)

H : ketinggian gelombang (m)

L : panjang gelombang (m)

T : period (s)

(b) panjang gelombang L (m)

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan:

H : kedalaman air (m)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

(c) kecepatan partikel gelombang

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$w = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \cos\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

u : komponen kecepatan partikel gelombang sumbu x (m/s)

w: komponen kecepatan partikel gelombang sumbu z (m/s)

(d) percepatan partikel gelombang

$$\frac{du}{dt} = - \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \cos\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\frac{dw}{dt} = - \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan

$\frac{du}{dt}$: komponen kecepatan partikel gelombang sumbu x (m/s)

$\frac{dw}{dt}$: komponen kecepatan partikel gelombang sumbu z (m/s)

(e) tekanan air akibat gelombang (N/m^2)

$$p = \frac{\rho_o g H}{2} \frac{\cosh \frac{2\pi(z+h)}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) - \rho_o g z \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan

ρ_o : massa jenis air laut ($\pm 1,025 \text{ kg/m}^3$)

P : tekanan air karena gelombang

2.2.6 GAYA GELOMBANG PADA BANGUNAN LAUT

Perhitungan gaya-gaya hidrodinamika yang bekerja pada suatu struktur lepas pantai ataupun pipa bawah laut belum dapat dihitung secara eksak, baik dengan penurunan secara percobaan maupun teoritis. Oleh karena itu, digunakan metoda penyederhanaan untuk mendekati perhitungan gaya hidrodinamik pada struktur laut tersebut. Salah satu metoda pendekatan perhitungan gaya hidrodinamika adalah

dengan metoda *Morrison*. Metoda ini menghitung gaya hidrodinamika yang terjadi pada suatu struktur akibat gelombang laut di permukaan. Metoda ini cocok untuk diterapkan pada struktur lepas pantai maupun pipa bawah laut, dikarenakan perbandingan antara dimensi struktur terhadap panjang gelombang relatif kecil. Kriteria batas dapat digunakannya metoda *Morrison* adalah $D/L \leq 0.2$, dimana D adalah diameter struktur dan L adalah panjang gelombang. Pada kasus suatu gaya hidrodinamika mengenai suatu struktur pipa bawah laut, maka diasumsikan diameter terluar dari pipa tersebut masih jauh lebih kecil dari panjang gelombang laut, sehingga gelombang tersebut melewati struktur tanpa gangguan yang berarti. Gelombang yang bergerak melewati struktur tersebut tidak terganggu, akan tetapi pengaruh terhadap struktur terjadi akibat adanya *vortex (wake formation)* yang terbentuk di belakang struktur dan *flow separation*. Gaya hidrodinamika yang terjadi pada struktur adalah gaya inersia dan gaya seret. Pada teori gaya gelombang *Morrison* ini, gaya hidrodinamika yang terjadi diturunkan dari fluktuasi gelombang laut pada lokasi tersebut. Adanya gelombang laut yang merambat di permukaan menyebabkan arus pada perairan tersebut. Arus yang terjadi akibat gelombang ini disebut dengan *wave induced current*. Arus ini terjadi akibat pergerakan partikel air di bawah gelombang pada trayektori elips atau lingkaran. Oleh karena itu, arus akibat gelombang ini hanya bersifat lokal dan memiliki fasa tertentu dimana besarnya dapat bernilai maksimum atau minimum.

Gaya gelombang *Morrison* yang terjadi pada suatu struktur adalah penjumlahan dari gaya inersia dan gaya seret. Gaya seret (*drag force*) terjadi akibat gaya gesekan yang terjadi antara fluida dan dinding pipa (*skin friction*), dan *vortex* yang terjadi di belakang struktur. Gaya inersia terjadi pada struktur akibat gaya oleh perubahan perpindahan massa air yang disebabkan oleh keberadaan pipa. Perubahan perpindahan massa diakibatkan oleh adanya fluktuasi percepatan arus. Pada intinya, faktor yang mempengaruhi gaya seret adalah kecepatan partikel air. Sedangkan faktor yang mempengaruhi gaya inersia adalah percepatan partikel air.

$$F_m = F_D + F_I \dots\dots\dots(2.10)$$

$$F_D = C_D \frac{\rho_{seawater}}{2g} D U |U| \dots\dots\dots(2.11)$$

$$F_I = C_m \frac{\rho_{seawater}}{g} A \frac{\delta U}{\delta t} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan:

F_m = Gaya Morison (N/m)

F_D = Gaya Drag (N/m)

F_I = Gaya Inersia (N/m)

C_D = Koefisien Drag

C_m = Koefisien Inersia

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

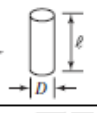
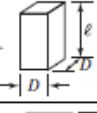
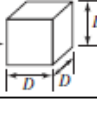

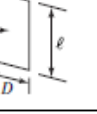
D = Diameter silinder (m)

A = Luasan silinder ($\pi D^2/4$)

U = kecepatan aliran air laut yang mengenai silinder (m/s)

$\delta U/\delta t$ = percepatan aliran air laut yang mengenai silinder (m/s^2)

Tabel 2.1 : Koefisien Inersia untuk Bentuk Sederhana (Sumber: MLIT, 2009)

Shape	Reference volume	Inertia coefficient
Circular cylinder 	$\frac{\pi}{4} D^2 \ell$	$2.0 (\ell > D)$
Square-based prism 	$D^2 \ell$	$2.19 (\ell > D)$
Cube 	D^3	1.67
Sphere 	$\frac{\pi D^3}{6}$	1.5
Flat plate 	$\frac{\pi}{4} D^2 \ell$	$D/\ell = 1 \rightarrow 0.61$ $D/\ell = 2 \rightarrow 0.85$ $D/\ell = \infty \rightarrow 1.0$

2.2.7 RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) merupakan fungsi respon gerak struktur dibanding amplitudo eksitasi gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO juga disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur (Chakrabakti, 1987). Pada kasus ini RAO yang dibahas adalah RAO gerakan, yang dapat menjadi acuan karakteristik gerak struktur lepas pantai terapancang akibat ekitasi gelombang reguler

pada tiap-tiap frekuensi. Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO secara matematis adalah sebagai berikut:

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan :

$X_p(\omega)$ = amplitudo respon struktur

$\eta(\omega)$ = amplitudo gelombang

2.2.8 SPEKTRUM GELOMBANG

Pemilihan spektrum energi gelombang didasarkan pada kondisi real dari perairan yang ditinjau. Bila tidak ada, maka dapat digunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan. Harga stokastik karakteristik gelombang dapat dihitung menggunakan persamaan pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Amplitudo dan Tinggi Gelombang pada Spektrum (sumber: Bhattacharyya, 1978)

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang Rata-rata	$1,25\sqrt{m_0}$	$2,5\sqrt{m_0}$
Gelombang Signifikan	$2,00\sqrt{m_0}$	$4,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 Gelombang Tertinggi	$2,55\sqrt{m_0}$	$5,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/100 Gelombang Tertinggi	$3,44\sqrt{m_0}$	$6,67\sqrt{m_0}$

dengan : m_0 = Luasan dibawah kurva spektrum (zero moment) $= \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega$

Djarmiko (2012) dalam bukunya menjelaskan ada 7 formulasi spektra gelombang yang umumnya dipakai, antara lain:

1. Bretschneider – 1969
2. Pierson Moskowitz – 1964
3. *International Ship Structure Congress (ISSC)* – 1964
4. *International Towing Tank Conference (ITTC)* – 1975
5. Wang – 1991

6. *Joint North Sea Wave Project* (JONSWAP) – 1973, 1978

Spektrum gelombang adalah karakteristik dari suatu gelombang pada perairan tertentu dimana intensitas gelombang dalam membentuk gelombang acak. Model matematik spektrum secara umum didasarkan pada 1 (satu) atau lebih parameter. Spektra gelombang dinyatakan dalam:

- bentuk spektrum kepadatan energi gelombang (spektrum gelombang)
- energi per 1 m² luas permukaan.

Spektrum gelombang JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*) merupakan salah satu jenis spektrum yang sering digunakan dalam perhitungan gelombang. Spektrum JONSWAP didasarkan pada percobaan yang dilakukan di *North Sea*. Berikut persamaan dari spektrum JONSWAP:

$$S(\omega) = a g^2 \omega^{-5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right] \gamma^{\exp \left[\frac{-(\omega - \omega_0)^2}{2 \tau^2 \omega_0^2} \right]} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

- $S(\omega)$ = spektrum gelombang
- γ = parameter puncak (*peakedness parameter*)
bervariasi antara 1,0 sampai dengan 7,0
- τ = parameter bentuk (*shape parameter*)
untuk $\omega \leq \omega_0 = 0.07$ dan $\omega \geq \omega_0 = 0.9$
- a = $0.0076 (X_0) - 0.22$, untuk X_0 tidak diketahui $a = 0.0081$

2.2.9 SPEKTRA RESPON GERAKAN DI GELOMBANG ACAK

Gerakan bangunan laut akibat gelombang acak dapat diformulasikan dalam ranah frekuensi yang umum dikenal dengan respon spektra. Respon Spektra gerakan bangunan laut pada moda tertentu dihitung dari perkalian harga kuadrat RAO dengan Spektrum Gelombang pada ordinat frekuensi yang sama. Perhitungan tersebut merupakan normalisasi amplitudo respon gerakan dengan amplitudo eksitasi gelombang. Formulasi spektra respon gerakan bangunan laut di gelombang acak menggunakan persamaan berikut:

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2 \times S_{\zeta}(\omega) \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan:

$S_{\zeta r}(\omega)$ = Spektra Respon gerakan bangunan laut di gelombang acak

RAO = *Response Amplitude Operator*

$S_{\zeta}(\omega)$ = Spektrum Gelombang

2.2.10 Dynamic Amplification Factor (DAF)

Dynamic Amplification Factor (DAF) adalah sebuah angka tanpa dimensi yang menggambarkan berapa waktu yang dibutuhkan untuk struktur mengalami sebuah defleksi. Pada prakteknya angka ini digunakan sebuah faktor pengali untuk memasukkan faktor dinamis ke dalam analisa statis pada struktur (Chopra, 2014). Menurut API RP 2A-WSD pada kasus struktur *jacket*, DAF digunakan untuk melinierisasikan gaya drag yang bekerja sepanjang struktur *jacket* yang dikenai beban hidrodinamika. Persamaan umum DAF adalah sebagai berikut, T_n adalah periode natural struktur, T_w adalah periode gelombang, dan D adalah structural *damping ratio*:

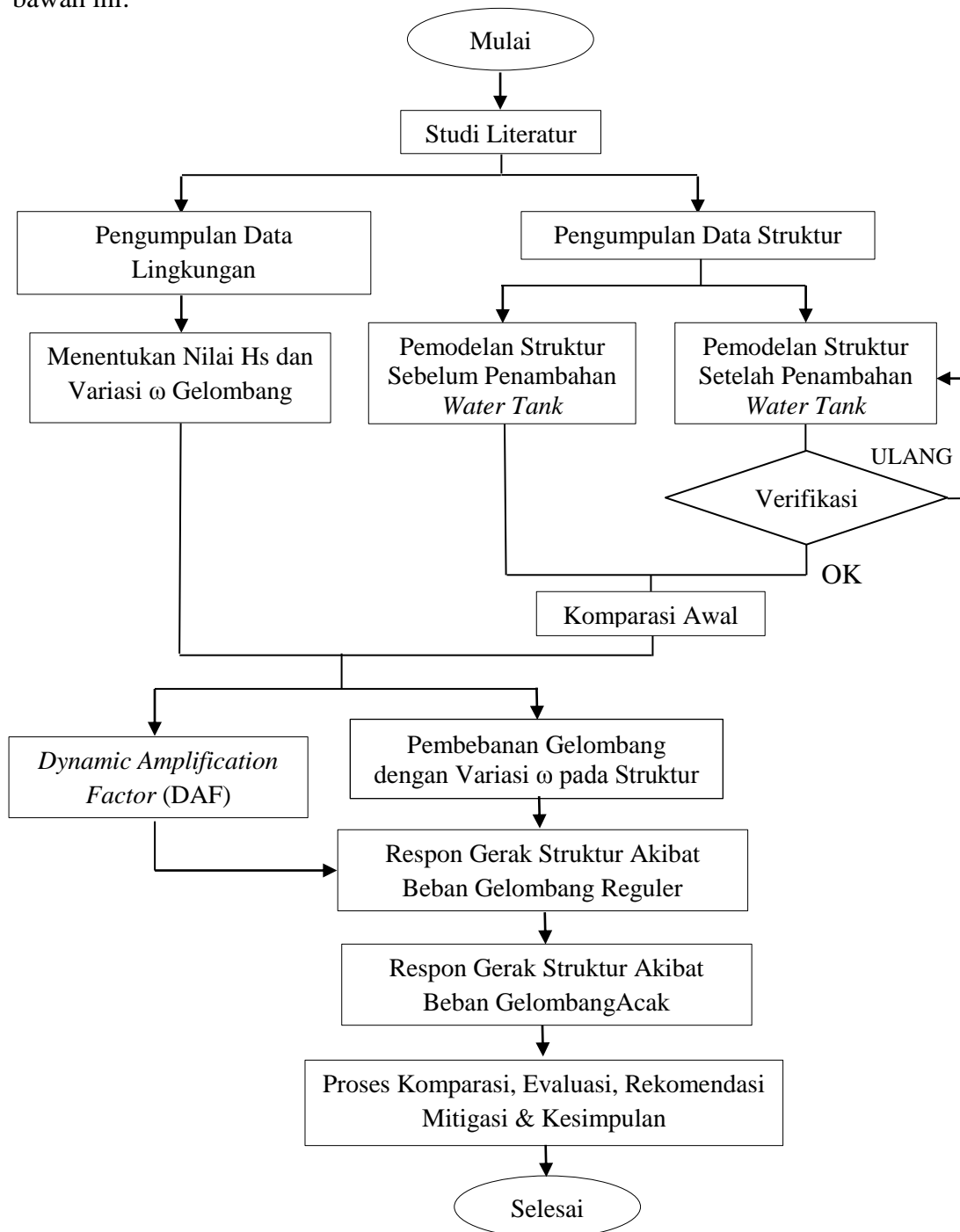
$$DAF = \frac{1}{\sqrt{(1 - (\frac{T_n}{T_w})^2)^2 + (2D \cdot \frac{T_n}{T_w})^2}} \dots\dots\dots (2.16)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 METODE PENELITIAN

Alur pengerjaan tugas akhir ini secara umum digambarkan dalam *flowchart* di bawah ini:



Gambar 3.1 Alur Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 PROSEDUR PENELITIAN

Berdasarkan bagan alur penelitian diatas, dapat diuraikan tahap-tahap dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Melakukan studi literatur buku-buku dan jurnal yang berkaitan dengan penelitian sebagai referensi dan dasar teori dalam penyelesaian masalah

2. Pengumpulan Data Struktur

Mengumpulkan data struktur yang akan dianalisa, meliputi data *input* untuk *software*, geometri dan data beban-beban yang mengenai struktur

3. Pengumpulan Data Lingkungan

Mengumpulan data lingkungan yang meliputi data gelombang, arah pembebanan gelombang, data arus, kedalaman, koefisien hidrodinamika, dll.

4. Pemodelan Struktur

Melakukan pemodelan struktur berdasarkan data struktur yang telah didapat dengan bantuan software SACS, sesuai skema sebelum dan sesudah penambahan beban operasional berupa penambahan *water tank* dan *deck extension*

5. Verifikasi Model

Melakukan verifikasi dengan cara mengkomparasikan model struktur yang telah dimodelkan sesuai dengan data asli dari lapangan berupa hasil *error* dari komparasi *output massa* struktur, *Unity Check* (UC) dan periode natural

6. Komparasi Awal

Komparasi awal dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara model setelah penambahan beban operasional dengan model sebelum penambahan beban operasional untuk analisa statisnya

7. Variasi Gelombang

Menetapkan variasi karakteristik gelombang reguler yang akan digunakan untuk variabel pembebanan oleh gelombang meliputi frekuensi/periode gelombang dan tinggi gelombang signifikan

8. *Dynamic Amplification Factor*

Menentukan DAF untuk memprediksi respon gerak struktur yang maksimum pada periode gelombang tertentu

9. Pembebanan Gelombang

Mengkalkulasikan pembebanan yang akan mengenai struktur berdasarkan pembebanan akibat gelombang regular dengan variasi frekuensi gelombang

10. Respon Gerak Struktur Akibat Beban Gelombang Regular

Menentukan respon gerak struktur akibat pembebanan gelombang regular dengan variasi frekuensi/periode gelombang berupa *structure deflection*

11. Respon Gerak Struktur Akibat Beban Gelombang Acak

Menentukan nilai stokastik dari respon gerak struktur yang signifikan menggunakan metode respon spektra

12. Komparasi, Evaluasi, Rekomendasi Mitigasi dan Kesimpulan

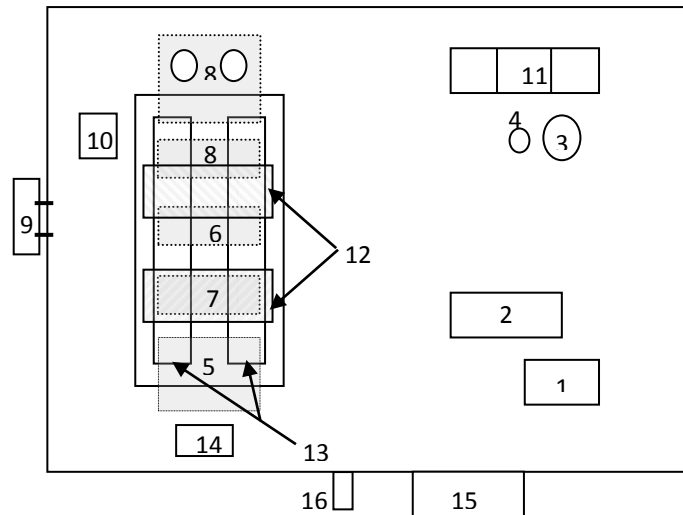
Melakukan proses komparasi, evaluasi dan rekomendasi mitigasi pada 2 (dua) skema struktur, kemudian melakukan analisis dan menarik kesimpulan

13. Selesai

3.3 DATA STRUKTUR

Struktur yang digunakan sebagai objek studi Tugas Akhir ini adalah struktur Bekapai *Quarters Platform* milik TOTAL E&P INDONESIA yang beroperasi di lapangan Bekapai, lepas pantai Kalimantan Timur, Indonesia. Dalam studi kasus yang dibahas pada Tugas Akhir ini, *Platform* tersebut mengalami penambahan beban operasional berupa penambahan *water tank*. Berikut ini adalah data struktur Bekapai *Quarters Platform* secara umum:

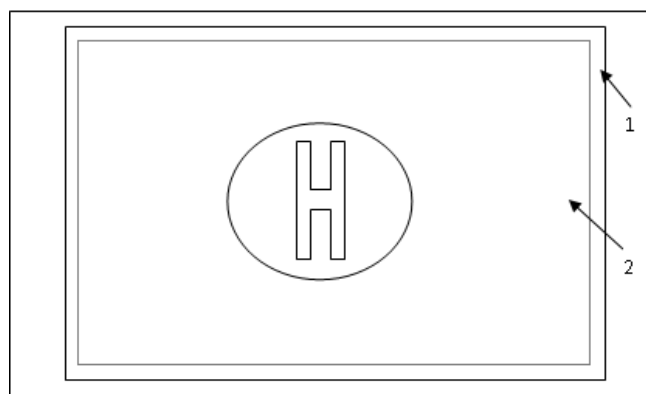
- Nama Anjungan : Bekapai Quarters Platform
- Pemilik : TOTAL E&P INDONESIA
- Lokasi : $0^{\circ} 59' 56.2''$ LS dan $117^{\circ} 29' 56''$ BT
- Lapangan : Bekapai, lepas pantai Kalimantan Timur
- Jenis : *Quarters Platform*
- Jumlah *Deck* : 2
- *Deck* : *Upper deck* dan *Cellar deck*
- Jumlah kaki : 4
- *Dead Load* : 3220.62 kN
- *Live Load* : 377.44 kN
- *Layout* :



Gambar 3.2 *Layout Cellar Deck* (sumber: PT PARAMUDA JAYA, 1997)

Keterangan:

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Generator | 9. Life Boat |
| 2. Generator | 10. Winch |
| 3. Storage Tank, T-610 (7'11" x 10') | 11. Water Tank T-600 |
| 4. V-620, (24" OD x 15') | 12. Horizontal P/v (34"Odx2m) |
| 5. Electrical Station | 13. Horizontal P/v (34"Odx4m) |
| 6. Transformer | 14. Compressor |
| 7. Pump | 15. Water tank (Additional) |
| 8. Water Treatment | 16. Welding Equipment |



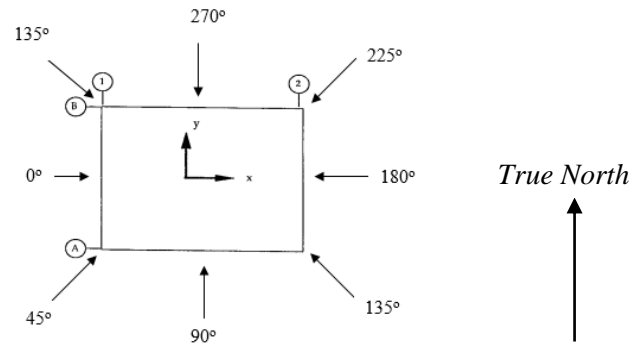
Gambar 3.3 *Layout Main Deck* (sumber: PT PARAMUDA JAYA, 1997)

Keterangan:

1. Helideck
2. Living Quarter

3.4 DATA LINGKUNGAN

3.4.1 Arah Pembebanan



Gambar 3.4 Arah Pembebanan Gelombang

3.4.2 Data Gelombang

Data gelombang yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Data Gelombang

<i>Return Periods</i>	<i>Maximum Wave Height (m)</i>	<i>Period (sec)</i>
<i>1 year return operating</i>	4.3	8.0
<i>100 years returning storm</i>	5.2	9.0

(Sumber: Technip, 2013)

3.4.3 Data Arus

Data arus dapat dilihat pada tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Data Arus

<i>Return Periods</i>	<i>Surface Current (m/sec)</i>	<i>Seabed Current (m/sec)</i>
<i>1 year return operating</i>	1.3	0.8
<i>100 years returning storm</i>	1.8	1.2

(Sumber: Technip, 2013)

3.4.4 Kedalaman

Kedalaman dapat dilihat pada tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.3 Kedalaman

<i>Description</i>	<i>Water Depth (m)</i>
<i>Lowest Astronomical Tide (LAT)</i>	35.05
<i>Maximum Storm Water Depth</i>	37.86
<i>Minimum Storm Water Depth</i>	35.54

(Sumber: Technip, 2013)

3.4.5 Koefisien Hidrodinamika

Koefisien hidrodinamis merujuk pada API RP-2A WSD 21st, 2000.

$C_d = 0.65$; $C_m = 1.6$ *members without marine growth*

$C_d = 1.05$; $C_m = 1.2$ *members with marine growth*

3.4.6 Current Blockage Factors

Current Blockage Factors merujuk pada API RP-2A WSD 21st, 2000.

End-on = 0.80

Diagonal = 0.85

Broadside = 0.8

3.4.7 Marine Growth

Ketebalan *Marine Growth* dari kedalaman 0 m – 23.552 m adalah 5 cm dan Ketebalan *Marine Growth* dari kedalaman 23.552 m – 36.552 m adalah 10 cm. Desintas kering *Marine Growth* adalah 1.30 t/m³.

3.4.8 Data Angin

Data angin dapat dilihat pada tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.4 Data Angin

<i>Return Periods</i>	<i>1 Minute Mean Wind Speed (m/sec)</i>
<i>1 year return operating</i>	18
<i>100 years returning storm</i>	24

(Sumber: Technip, 2013)

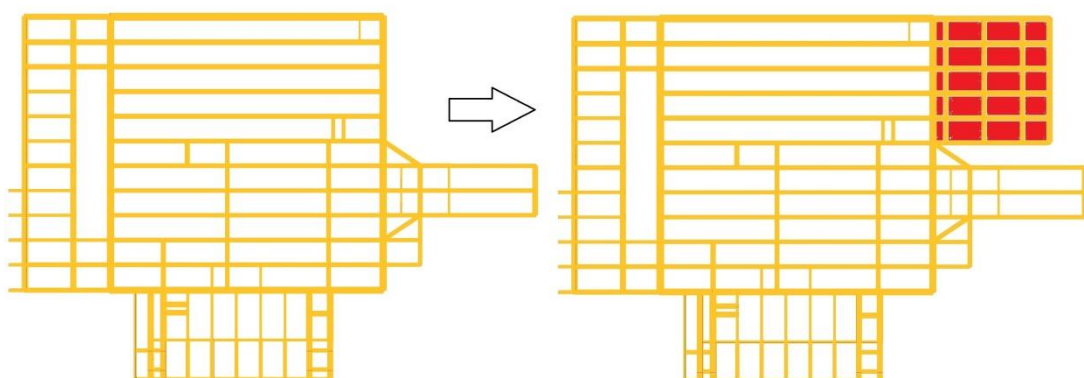
3.5 PEMODELAN STRUKTUR

Struktur Bekapai BQ *Platform* dimodelkan menggunakan *software* SACS yang merupakan salah satu perangkat lunak berbasis Metode Elemen Hingga (MEH) untuk *strucutral analysis* khususnya untuk bangunan lepas pantai terpancang yang umumnya dikenal dengan *Fixed Jacket Platform*. Prinsip dasar dari analisa struktur globalnyanya adalah dengan cara membagi menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Dalam metode elemen hingga seluruh masalah kompleksitas struktur yang

meliputi variasi bentuk, densitas dan beban dapat diselesaikan dengan cara membagi struktur-struktur global menjadi elemen-elemen kecil. Begitu *software* ini bekerja, struktur Bekapai BQ *Platform* dianalisa dengan cara membagi bagian-bagiannya menjadi member-member yang berjumlah terhingga sebelum akhirnya struktur dapat dianalisa secara global. Struktur ini mempunyai kompleksitas pada masing-masing membernya, seperti adanya keberagaman bentuk, konfigurasi struktur yang berbeda, densitas, berat dll.

Secara umum struktur ini dibagi menjadi 3 (tiga) bagian besar, yaitu bagian *deck/topside*, *jacket* dan *pile*. Dalam masing-masing bagian tersebut memiliki kompleksitas bentuk, densitas, beban yang ditanggung dan tumpuan *fixity*nya (jepit, *pin*, *roll*, dll.). Untuk itu karakteristik kekakuan (*stiffness characteristic*) sangat dipengaruhi oleh kompleksitas struktur yang sedemikian rupa. Contohnya pada struktur *jacket* yang umumnya memiliki properti *member* berupa *tubular*/silinder berongga beserta susunan konfigurasinya yang beraneka ragam, faktor-faktor yang demikian mempengaruhi karakteristik kekakuan struktur. Pada *pile*, karakteristik tanah juga mempengaruhi kekakuan struktur, karena *fixity* pada dasar pile dipengaruhi oleh karakter tanah di sekitarnya. Pada bangunan atas, konfigurasi-konfigurasi dan properti struktur beserta *support*nya dalam menanggung *equipment* diatas *deck* juga ikut andil dalam kekakuan.

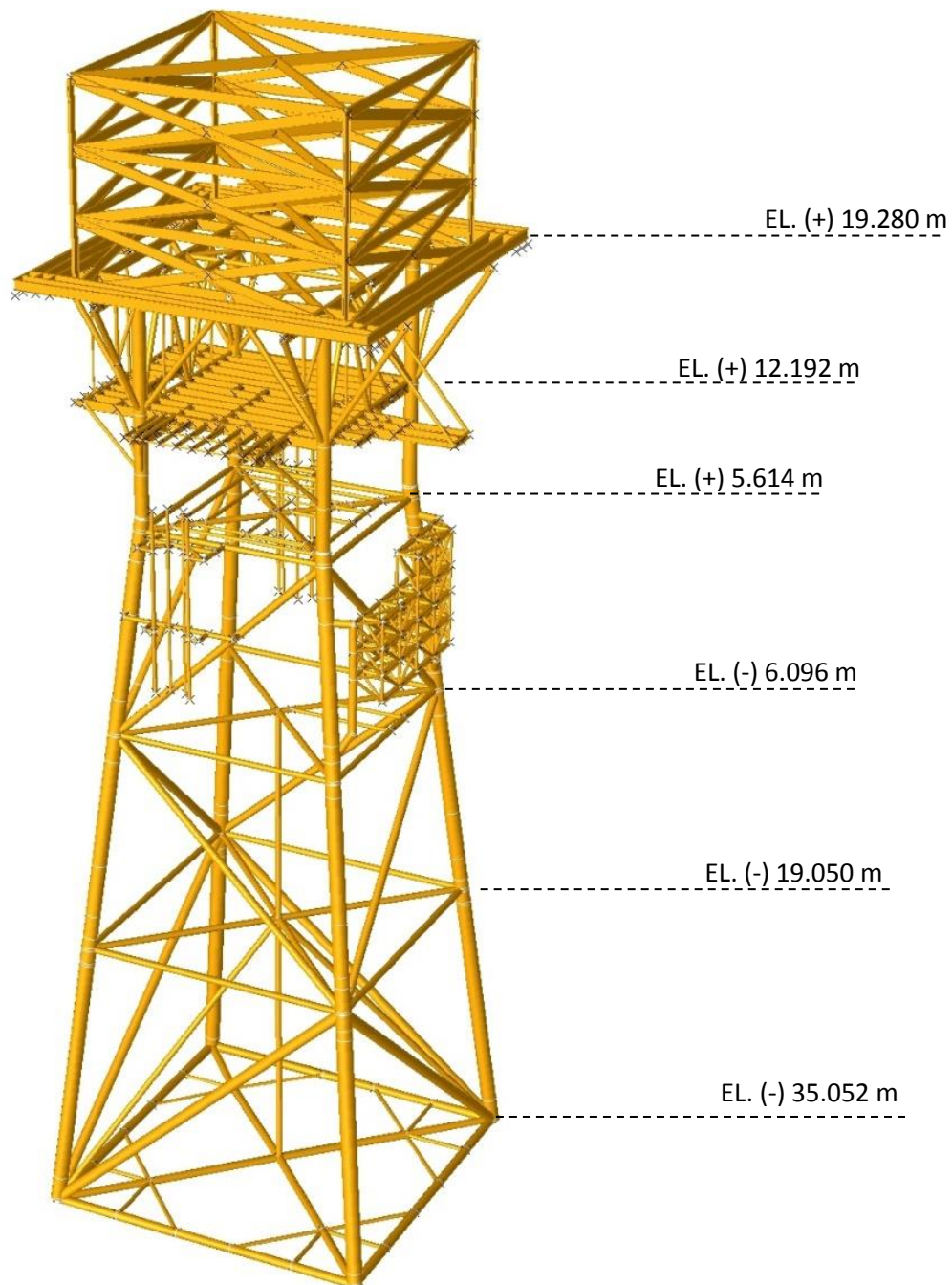
3.5.1 Layout Penempatan Water Tank pada Cellar Deck



Gambar 3.5 Lokasi Penempatan Water Tank pada Cellar Deck

3.5.2 Pemodelan Struktur Sebelum Ditambah *Water Tank*

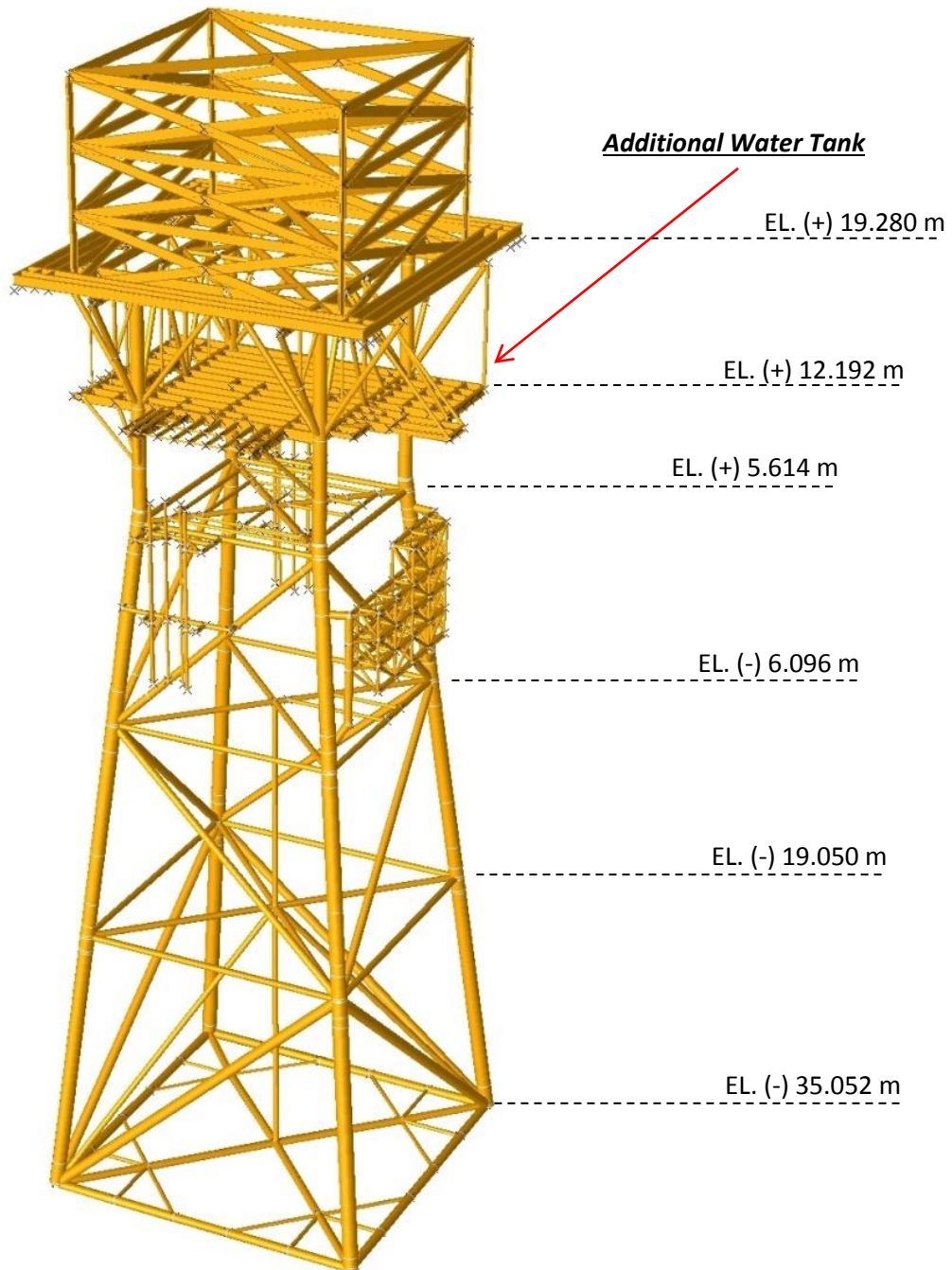
Berikut ini adalah tampilan visual dari model struktur BQ *Platform* sebelum ditambah *water tank* dan *deck extension* pada *cellar deck*:



Gambar 3.6 Model Struktur Bekapai BQ *Platform* Sebelum Penambahan *Water Tank*

3.5.3 Pemodelan Struktur Setelah Ditambah *Water Tank*

Berikut ini adalah tampilan visual dari model struktur BQ *Platform* setelah ditambah *water tank* dan *deck extension* pada *cellar deck*:



Gambar 3.7 Model Struktur Bekapai BQ *Platform* Setelah Penambahan *Water Tank*

3.6 VERIFIKASI MODEL

Verifikasi model struktur dilakukan untuk memeriksa kesesuaian dan kecocokan *modelling* struktur yang telah dilakukan dengan model asli yang ada di lapangan. Bentuk verifikasi yang akan dilakukan adalah pemaparan dari perbedaan selisih hasil (*error*) dari komparasi *output in-place analysis* modeling yang dilakukan dengan hasil *output in-place analysis* model yang dilakukan oleh perusahaan. Model yang akan dikomparasi adalah model dengan skema setelah penambahan beban operasional. Berikut ini adalah hasil komparasinya:

3.6.1 Verifikasi Nilai *Selfweight* Struktur

Selfweight yang akan dikomparasikan merupakan *Selfweight* model struktur yang telah dimodelkan oleh dengan model asli di lapangan. Hasil komparasi *Selfweight* dapat dilihat dalam Tabel 3.5 di bawah ini:

Tabel 3.5 Hasil Verifikasi Model Berdasarkan *Selfweight*

Selfweight (kN)		Perbedaan (%)
SW model	SW report	
3644.0302	3598.06	1.27764

Prosentase Selisih *Selfweight* yang ditampilkan pada Tabel 3.5 diatas memiliki selisih yang kecil dan dapat ditoleransi. Perbedaan nilai *Selfweight* kemungkinan terjadi karena adanya ketidakteelitian dalam melakukan pemodelan berdasarkan data struktur pada *report*.

3.6.2 Verifikasi Nilai *Unity Check* Kritis

UC (*Unity Check*) yang akan dikomparasikan merupakan UC model struktur yang telah dimodelkan dengan model asli di lapangan, yang hanya memiliki nilai lebih 1.00 saja. *Unity Check* merupakan rasio antara tegangan asli pada member dengan tegangan ijinnya. Hasil komparasi UC dapat dilihat dalam Tabel 3.6 di bawah ini:

Tabel 3.6 Hasil Verifikasi Model Berdasarkan UC

Member	Group ID	UC Model	UC Report	Perbedaan (%)
1001-1203	CD1	1.052	1.021	3.036
1068-1015	CD3	1.097	1.066	2.908

Prosentase Selisih UC yang ditampilkan pada Tabel 3.6 diatas memiliki selisih yang kecil dan dapat ditoleransi. Perbedaan nilai UC kemungkinan terjadi karena adanya ketidakteelitian dalam melakukan pemodelan berdasarkan data struktur pada *report*.

3.6.3 Verifikasi Nilai Periode Natural Struktur

Periode Natural yang akan dikomparasikan merupakan Periode Natural model struktur yang telah dimodelkan oleh dengan model asli di lapangan, pada komparasi kali ini berdasarkan 10 moda getar. Hasil komparasi Periode Natural dapat dilihat dalam Tabel 3.7 di bawah ini:

Tabel 3.7 Hasil Verifikasi Model Berdasarkan Periode Natural

Mode	Periode Natural Struktur (sec)		Perbedaan (%)
	Model	Report	
1	1.89	1.91	1.19
2	1.85	1.90	2.72
3	1.60	1.65	3.2
4	0.81	0.86	5.44
5	0.80	0.85	5.38
6	0.55	0.59	6.7
7	0.25	0.26	4.54
8	0.24	0.26	6.92
9	0.23	0.24	6.12
10	0.20	0.21	1.42

Prosentase selisih periode natural yang ditampilkan pada Tabel 3.7 diatas memiliki selisih yang kecil dan dapat ditoleransi. Perbedaan nilai periode natural kemungkinan terjadi karena adanya ketidakteelitian dalam melakukan pemodelan berdasarkan data struktur pada *report*.

BAB IV

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 KOMPARASI AWAL

Komparasi awal dilakukan untuk membandingkan model struktur sebelum dan sesudah adanya penambahan beban operasional berupa *water tank* dengan pendekatan statis. Komparasi yang dilakukan adalah komparasi *selfweight*, *unity check* dan periode natural struktur. Selain untuk memverifikasi bahwa model yang dibuat sudah benar, komparasi ini juga dilakukan untuk memperkuat informasi kasus yang sedang terjadi pada *platform* ini bahwa untuk masalah integritas struktur tidak terpengaruhi secara signifikan. Akan tetapi faktor ketidaknyamanan personil karena *sway response* atau pergerakan yang terjadi pada struktur ternyata memang terjadi, salah satunya ditunjukkan dengan perubahan periode natural. Menurut API RP 2A-WSD pada *Figure 17.2.2* bab *addition of facilities* menjelaskan bahwa pada kasus penambahan fasilitas/*equipment* baru pada *platform* perlu dilakukan tindakan penilaian dan evaluasi untuk mengetahui seberapa signifikan dampaknya terhadap struktur (untuk penambahan lebih dari 10% dari *selfweight* struktur).

4.1.1 KOMPARASI NILAI *SELFWEIGHT* STRUKTUR

Berikut ini adalah hasil komparasi *selfweight* struktur pada kondisi sebelum dan setelah ditambah beban operasional.

Tabel 4.1 Hasil Komparasi Model Berdasarkan *Selfweight*

Selfweight (kN)	
SW Setelah	SW Sebelum
3644.03	3561.62

Dari hasil komparasi diatas memperlihatkan adanya pengurangan *selfweight* pada struktur dengan skema sebelum penambahan beban operasional, pemodelan struktur dianggap masuk akal.

4.1.2 KOMPARASI NILAI *UNITY CHECK* KRITIS

Berikut ini adalah hasil komparasi *unity check* kritis struktur pada kondisi sebelum dan setelah ditambah beban operasional.

Tabel 4.2 Hasil Komparasi Model Berdasarkan UC

Member	Group ID	UC Setelah	UC Sebelum
1001-1203	CD1	1.05	1.04
1068-1015	CD3	1.07	1.1

Dari hasil komparasi diatas menggambarkan tidak ada dampak signifikan terhadap perubahan *unity check* pada member kritis, menunjukkan bahwa kekuatan struktur masih aman meskipun ada penambahan *water tank*.

4.1.3 KOMPARASI NILAI PERIODE NATURAL STRUKTUR

Tabel 4.3 menampilkan komparasi periode natural struktur pada dua skema sebelum dan sesudah penambahan beban operasional.

Tabel 4.3 Hasil Komparasi Model Berdasarkan Periode Natural

Mode	Periode Natural Struktur (sec)	
	Setelah	Sebelum
1	1.89	1.81

Tabel diatas menggambarkan adanya perubahan nilai periode natural pada struktur setelah ditambahkan beban operasional baru (*water tank*) karena bertambahnya beban pada struktur.

4.1.4 KOMPARASI NILAI *CENTRE OF GRAVITY* (COG)

Berikut ini adalah hasil komparasi COG struktur pada kondisi sebelum dan setelah ditambah beban operasional.

Tabel 4.4 Hasil Komparasi Model Berdasarkan COG

COG Struktur	Sebelum (m)			Setelah (m)		
	x	y	z	x	y	z
	0.22	-0.004	-7.55	0.33	0.03	-7.27

Tabel diatas menggambarkan adanya pergeseran nilai *centre of gravity* (COG) pada struktur setelah ditambahkan beban operasional baru (*water tank*).

4.2 PENENTUAN TEORI GELOMBANG

Teori gelombang yang akan dipakai dalam penelitian tugas akhir ini adalah teori gelombang linier (*Airy*). Pertimbangan penulis memilih teori gelombang tersebut sebagai batasan masalah adalah untuk mengurangi kompleksitas perhitungan pembebanan gelombang. Idealnya untuk analisa statis dengan variabel 1 (satu) beban gelombang (yang paling ekstrem) perlu adanya pemilihan teori gelombang yang ideal dengan mempertimbangkan *wave steepness*-nya. Akan tetapi untuk analisa dinamis seperti yang akan dilakukan pada penelitian ini, hal tersebut akan menimbulkan perhitungan yang terlalu kompleks. Dalam analisa respon gerak kali ini penulis mempunyai banyak variasi-variasi variabel periode gelombang, sehingga jika diterapkan dengan teori gelombang yang spesifik, maka akan banyak perhitungan validasi teori gelombang yang dilakukan dan akan banyak teori gelombang yang dipakai. Selain itu karakteristik gelombang di perairan Bekapai relatif memiliki tinggi gelombang yang kecil.

Penentuan teori gelombang dibutuhkan untuk menentukan formula *velocity* dan *acceleration* partikel air dalam gelombang sesuai dengan teori gelombang yang akan dipakai. Untuk kasus teori gelombang linier *Airy* persamaan/formula *velocity* dan *acceleration* bisa ditentukan seperti pada persamaan 2.4, 2.5, 2.6 dan 2.7. Formula tersebut tentunya lebih sederhana dibandingkan dengan formula-formula dalam teori gelombang non-linier *stokes*. Karena memiliki banyak asumsi sebagai penyederhanaan masalah.

4.3 VARIASI KARAKTERISTIK GELOMBANG

Variasi karakteristik gelombang regular yang akan digunakan untuk pembebanan gelombang meliputi variasi frekuensinya (diambil dari konversi periode gelombangnya). Kemudian dari variasi gelombang tersebut akan dibebankan pada struktur dengan 8 (delapan) arah pembebanan, seperti yang diilustrasikan pada gambar 3.4. Variasi periode dan satu nilai tinggi gelombang signifikan berdasarkan pada data kriteria *meatocean* di perairan Bekapai, Kalimantan Timur.

Tabel 4.5 Data *Scatter* Periode dan Tinggi Gelombang pada Perairan Bepakai di Kedalaman 35 m

	Mean Wave Period (s)								total
	0-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-10	
Hs (m)									
>2	0	0	0	0	0.21	0.01	0	0	0.22
1.8-2	0	0	0	0.01	0.27	0	0	0	0.28
1.6-1.8	0	0	0	0.15	0.5	0	0	0	0.65
1.4-1.6	0	0	0	0.87	0.64	0	0	0	1.51
1.2-1.4	0	0	0	2.61	0.71	0	0	0	3.32
1.0-1.2	0	0	0.07	5.81	0.62	0	0	0	6.5
0.8-1.0	0	0	1.85	10.01	0.25	0	0	0	12.11
0.6-0.8	0	0	8.66	10.91	0.04	0	0	0	19.61
0.4-0.6	0	0	21.75	7.87	0.01	0	0	0	29.63
0.2-0.4	0	0.04	21.84	2.36	0	0	0	0	24.24
0.0-0.2	0.01	0.25	2.39	0.24	0.03	0	0	0	2.92
total	0.01	0.29	56.56	40.84	3.28	0.01	0	0	100

(Sumber: TOTAL, 2010)

Berdasarkan data *scatter* diatas maka Tinggi Gelombang Signifikan dan Variasi Periode Gelombang yang akan dipakai akan dijabarkan dalam Tabel 4.6, untuk nilai frekuensi yang akan dipakai merupakan hasil dari konversi yang berasal dari periode gelombang ($\omega=2\pi/T$). Penentuan asumsi nilai frekuensi dan tinggi gelombang signifikan berikut merupakan pendekatan terhadap data *wave record* yang telah ditampilkan di atas, karena dalam penelitian ini penulis ingin menerapkan konsep *response amplitude operator* pada *fixed structure*.

Tabel 4.6 Variasi Karakteristik Gelombang yang Dipakai Untuk Analisis Respon Gerak Struktur

No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)
1	3.6	1.74	0.2	12	2.50	2.51	0.2
2	3.50	1.79	0.2	13	2.4	2.62	0.2
3	3.4	1.85	0.2	14	2.30	2.73	0.2
4	3.30	1.90	0.2	15	2.2	2.85	0.2
5	3.2	1.96	0.2	16	2.10	2.99	0.2
6	3.10	2.03	0.2	17	2	3.14	0.2
7	3	2.09	0.2	18	1.90	3.31	0.2
8	2.90	2.17	0.2	19	1.8	3.49	0.2
9	2.8	2.24	0.2	20	1.70	3.69	0.2
10	2.70	2.33	0.2	21	1.6	3.93	0.2
11	2.6	2.42	0.2				

4.4 DYNAMIC AMPLIFICATION FACTOR (DAF)

Perhitungan DAF selain berguna untuk faktor yang dimasukkan dalam analisa statis juga untuk memprediksi respon gerak struktur maksimum yang akan terjadi, Menurut (Chopra, 1995) beban dinamis jauh lebih berdampak signifikan, sehingga DAF bisa mewakili untuk memprediksi respon maksimum yang akan terjadi. Sehingga dapat menentukan nilai interval frekuensi dan periode gelombang yang

ideal. Penentuan tersebut bertujuan untuk merencanakan variasi periode/frekuensi gelombang yang berada di sekitar *peak* dari respon gerak struktur sehingga tidak meraba-raba dan melakukan perhitungan dengan variasi periode/frekuensi yang terlalu banyak. Persamaan yang dipakai untuk menentukan nilai DAF adalah persamaan 2.19. (Graff, 1981) mengasumsikan nilai damping sebesar 5% untuk analisa respon gerak *jacket fixed platform* apabila nilai *damping structure* tidak diketahui secara eksplisit, begitu pula dalam penelitian ini.

4.4.1 DAF untuk Model Sebelum Penambahan Beban Operasional

Berikut ini adalah simulasi perhitungan DAF (*Dynamic Amplification Factor*) yang menginteraksikan periode natural struktur dengan periode gelombang pada kondisi sebelum ditambah beban operasional.

Tabel 4.7 DAF Model Struktur Sebelum Penambahan Beban Operasional

No.	Gelombang	Struktur		DAF
	Tw (s)	Damping Ratio	T natural (s)	
1	1.74	0.05	1.896	4.731
2	1.79	0.05	1.896	6.355
3	1.85	0.05	1.896	8.632
4	1.90	0.05	1.896	10.010
5	1.96	0.05	1.896	8.521
6	2.03	0.05	1.896	6.435
7	2.09	0.05	1.896	4.970
8	2.17	0.05	1.896	4.011
9	2.24	0.05	1.896	3.360
10	2.33	0.05	1.896	2.896

4.4.2 DAF untuk Model Setelah Penambahan Beban Operasional

Berikut ini adalah simulasi perhitungan DAF (*Dynamic Amplification Factor*) yang menginteraksikan periode natural struktur dengan periode gelombang pada kondisi setelah ditambah beban operasional.

Tabel 4.8 DAF Model Struktur Setelah Penambahan Beban Operasional

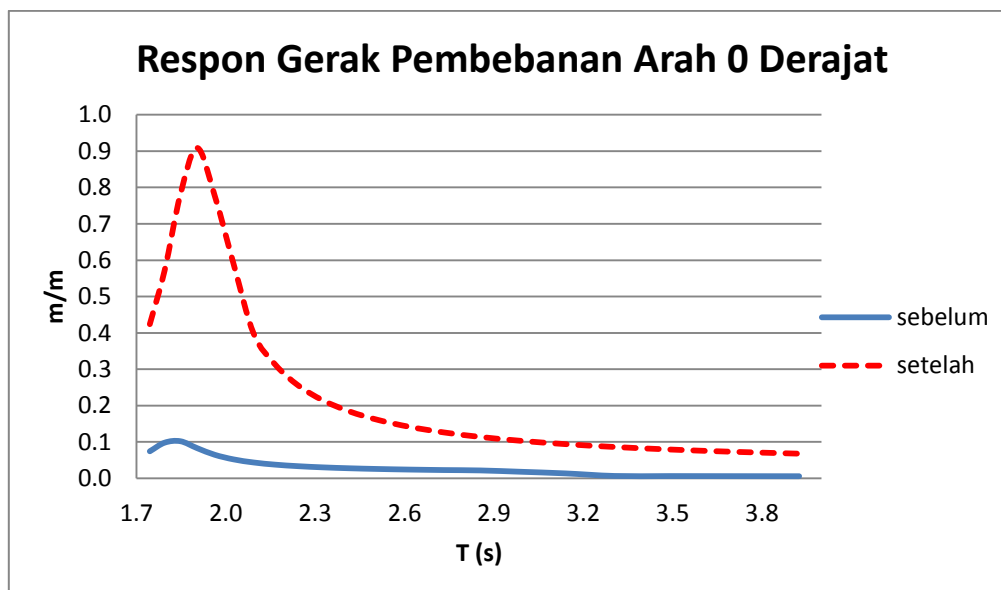
No.	Gelombang	Struktur		DAF
	Tw (s)	Damping Ratio	T natural (s)	
1	1.74	0.05	1.819	7.353
2	1.79	0.05	1.819	9.514
3	1.85	0.05	1.819	9.709
4	1.90	0.05	1.819	7.763
5	1.96	0.05	1.819	5.929
6	2.03	0.05	1.819	4.683
7	2.09	0.05	1.819	3.848
8	2.17	0.05	1.819	3.266
9	2.24	0.05	1.819	2.843
10	2.33	0.05	1.819	2.524

4.5 RESPON GERAK STRUKTUR AKIBAT BEBAN GELOMBANG REGULER

Dalam analisis respon gerak berikut ini diasumsikan *damping* sebesar 5% karena *damping* struktur tidak dijelaskan secara eksplisit (Graff, 1981). Defleksi yang ditinjau adalah defleksi maksimum pusat massa pada *cellar deck* dan *main deck*, dimana pada elevasi ini bermukim para personil yang bekerja di BQ Platform. Arah defleksi pada pembahasan yang akan dilakukan adalah defleksi yang searah dengan arah pembebanan gelombangnya. Pembebanan gelombang kepada struktur dilakukan dengan menggunakan gaya gelombang Morrison yang dikenakan kepada struktur sesuai variasi karakteristik gelombang (T dan Hs) dan arah pembebanan. Respon gerak yang akan ditampilkan akan mengadaptasi konsep *response amplitude operator*, menggunakan nilai satu Hs untuk semua variasi frekuensi/periode gelombang sebesar 0.2 meter. Respon gerak yang akan ditampilkan adalah perbandingan antara amplitudo gerakan struktur (defleksi) dengan amplitudo gelombang yang dalam kasus ini sebagai beban. Pada grafik-grafik respon gerak di bawah terlihat bahwa *peak* dari respon gerak berada pada pembebanan gelombang yang memiliki nilai periode mendekati nilai periode natural struktur (resonansi).

4.5.1 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 0^0

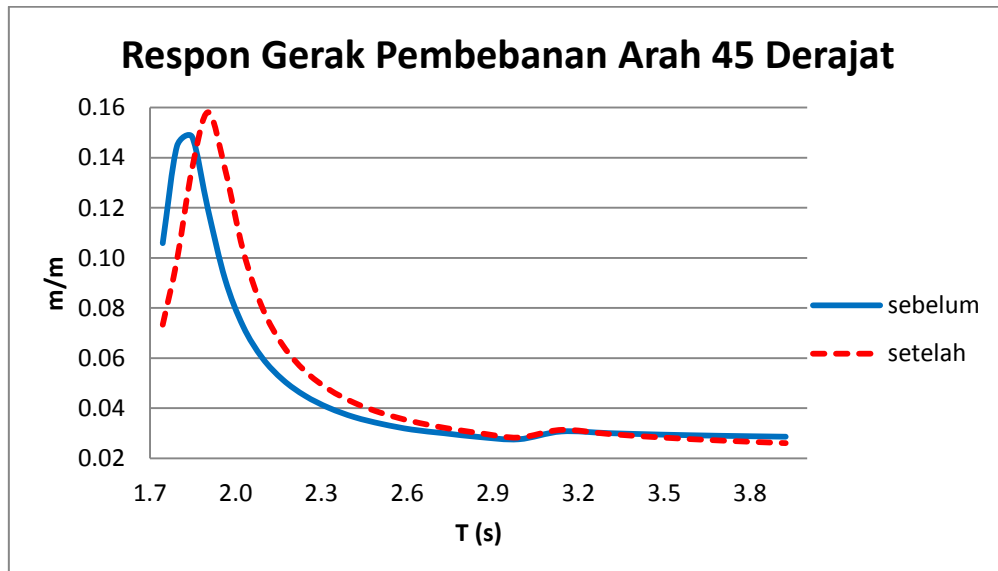
Berikut ini adalah grafik perbandingan respon gerak struktur pada arah pembebanan 0^0 untuk struktur sebelum dan setelah ditambah beban operasional.



Gambar 4.1 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 0^0

4.5.2 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 45^0

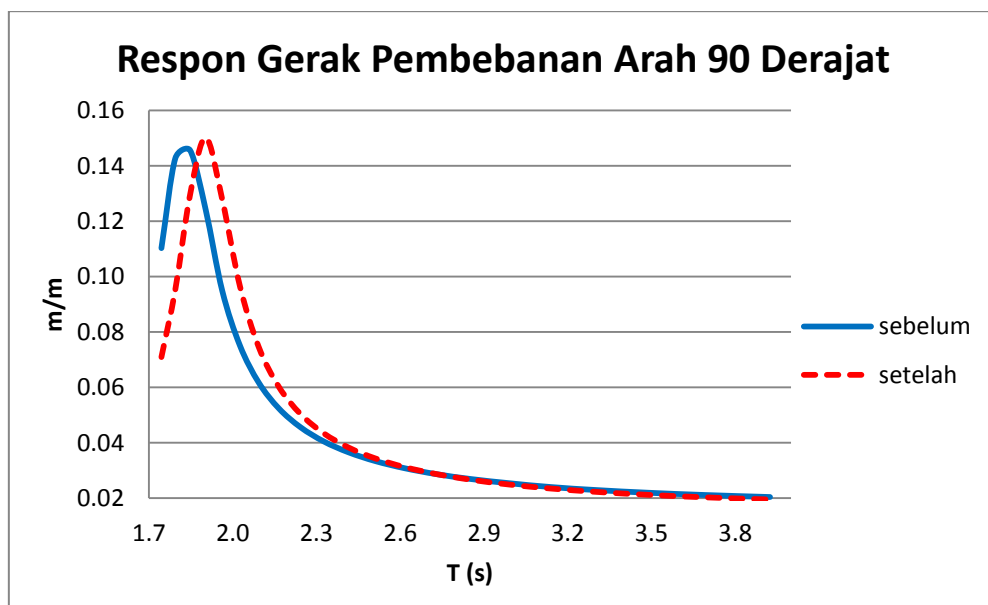
Berikut ini adalah grafik perbandingan respon gerak struktur pada arah pembebanan 45^0 untuk struktur sebelum dan setelah ditambah beban operasional.



Gambar 4.2 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 45^0

4.5.3 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 90^0

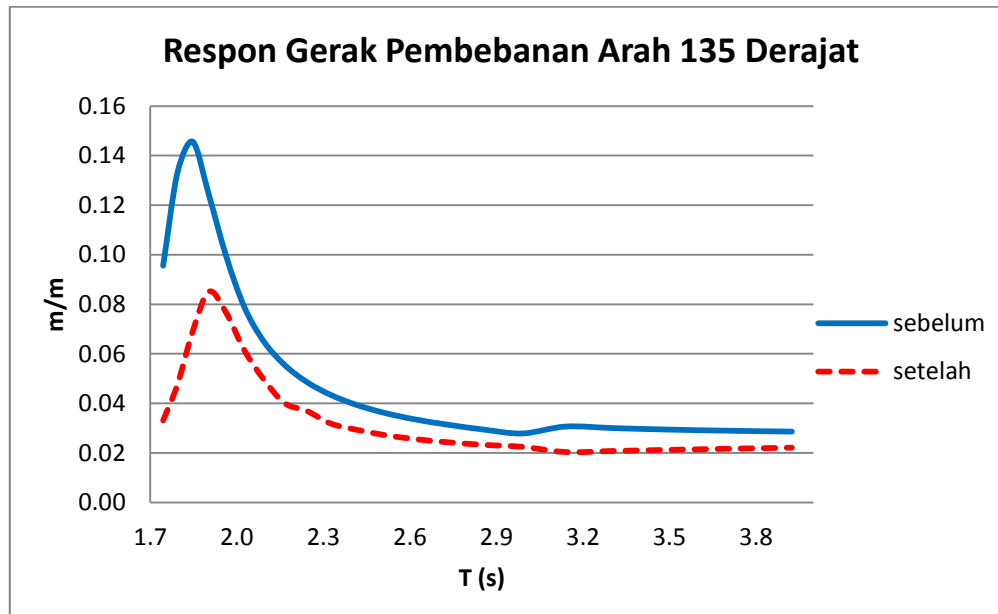
Berikut ini adalah grafik perbandingan respon gerak struktur pada arah pembebanan 90^0 untuk struktur sebelum dan setelah ditambah beban operasional.



Gambar 4.3 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 90^0

4.5.4 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 135⁰

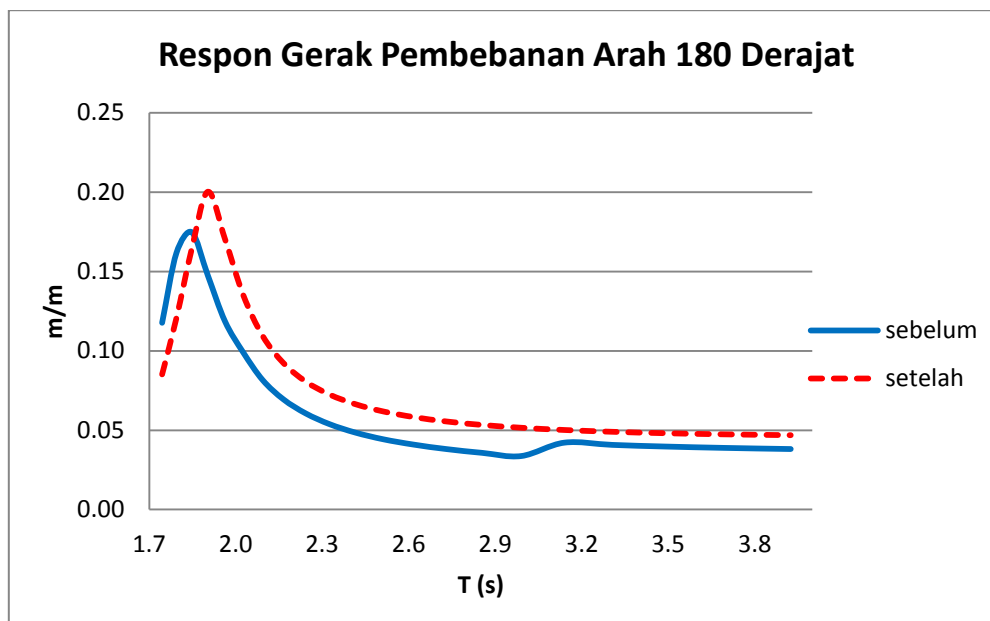
Berikut ini adalah grafik perbandingan respon gerak struktur pada arah pembebanan 135⁰ untuk struktur sebelum dan setelah ditambah beban operasional.



Gambar 4.4 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 135⁰

4.5.5 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 180⁰

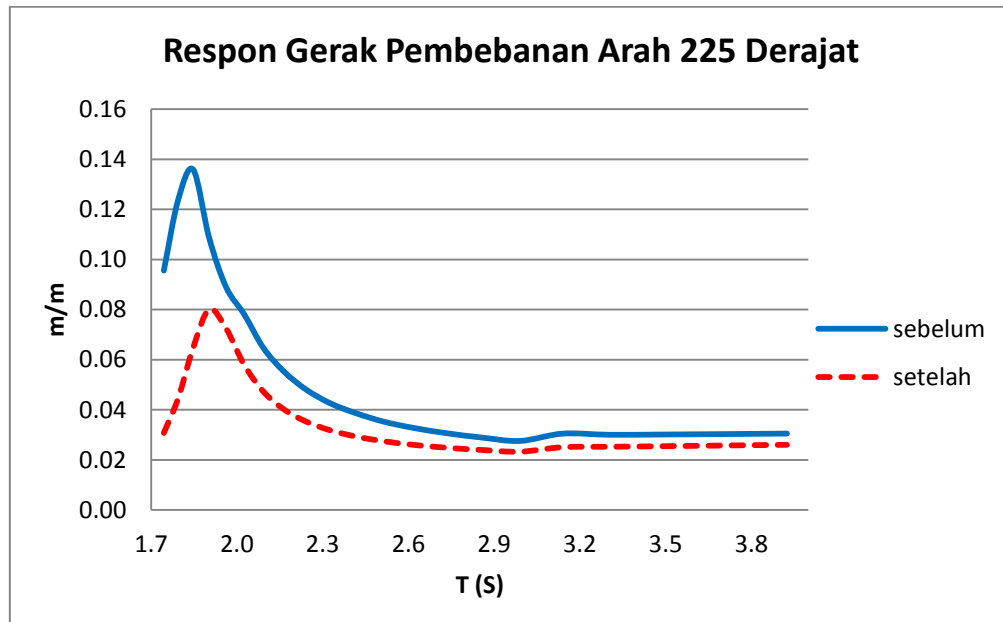
Berikut ini adalah grafik perbandingan respon gerak struktur pada arah pembebanan 180⁰ untuk struktur sebelum dan setelah ditambah beban operasional.



Gambar 4.5 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 180⁰

4.5.6 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 225⁰

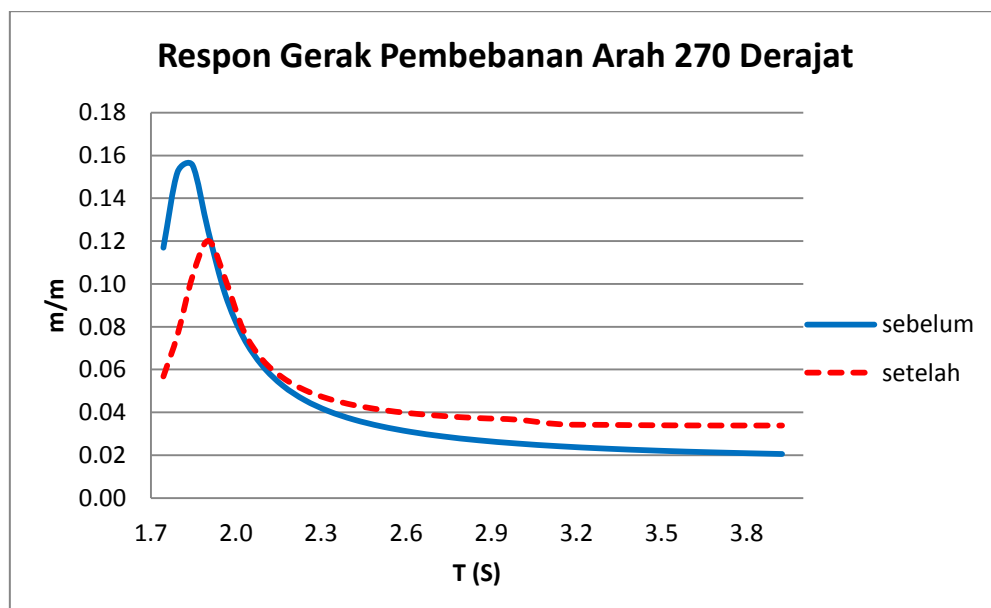
Berikut ini adalah grafik perbandingan respon gerak struktur pada arah pembebanan 225⁰ untuk struktur sebelum dan setelah ditambah beban operasional.



Gambar 4.6 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 225⁰

4.5.7 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 270⁰

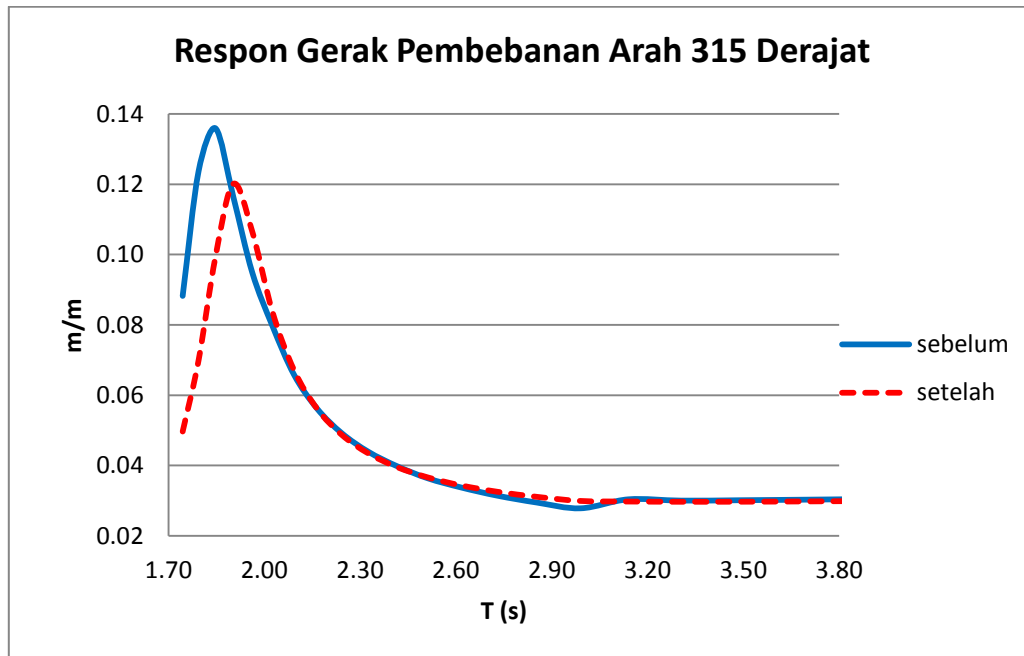
Berikut ini adalah grafik perbandingan respon gerak struktur pada arah pembebanan 270⁰ untuk struktur sebelum dan setelah ditambah beban operasional.



Gambar 4.7 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 270⁰

4.5.8 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 315⁰

Berikut ini adalah grafik perbandingan respon gerak struktur pada arah pembebanan 315⁰ untuk struktur sebelum dan setelah ditambah beban operasional.



Gambar 4.8 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 315⁰

4.5.9 Respon Gerak Maksimum Struktur Tiap Arah Pembebanan

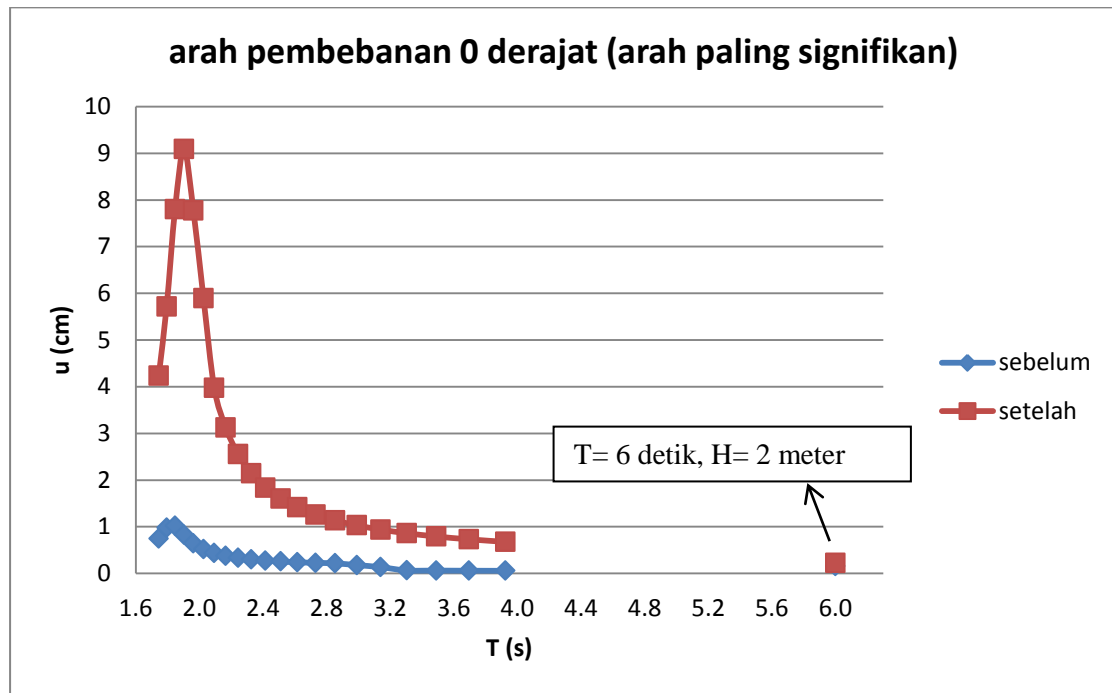
Tabel 4.9 di bawah ini memaparkan hasil dari nilai puncak respon gerak struktur oleh eksitasi gelombang reguler untuk setiap arah pembebanannya.

Tabel 4.9 Nilai Respon Gerak Maksimum Oleh Gelombang Reguler

Arah Pembebanan (derajat)	Sebelum		Setelah		Perubahan
	u max		u max		u signifikan
	m	cm	m	cm	cm
0	0.01	1.019	0.09	9.089	8.07
45	0.014	1.484	0.015	1.582	0.098
90	0.014	1.456	0.015	1.501	0.045
135	0.014	1.457	0.008	0.851	-0.606
180	0.017	1.784	0.02	2.002	0.218
225	0.013	1.359	0.008	0.801	-0.558
270	0.015	1.554	0.012	1.201	-0.353
315	0.013	1.359	0.012	1.201	-0.158

4.5.10 Respon Gerak Struktur akibat Gelombang Reguler Ekstrem pada Arah Pembebanan 0^0

Respon gerak yang akan disimulasikan adalah respon gerak struktur (defleksi) pada arah pembebanan paling signifikan dengan variabel gelombang reguler ekstrem berdasarkan *scatter* ($T=6$ detik, $H_s=2$ meter).



Gambar 4.9 Simulasi Respon Gerak Struktur Oleh Beban Gelombang Ekstrem Arah Pembebanan 0^0

Simulasi diatas menunjukkan bahwa respon gerak puncak tetap berada pada daerah resonansi antara periode natural struktur dan periode gelombang. Variabel beban gelombang ekstrem dan variabel disekitarnya ternyata tidak dominan dalam memberikan kontribusi respon gerak struktur sehingga pendekatan pemilihan batas interval periode gelombang dinyatakan sudah tepat.

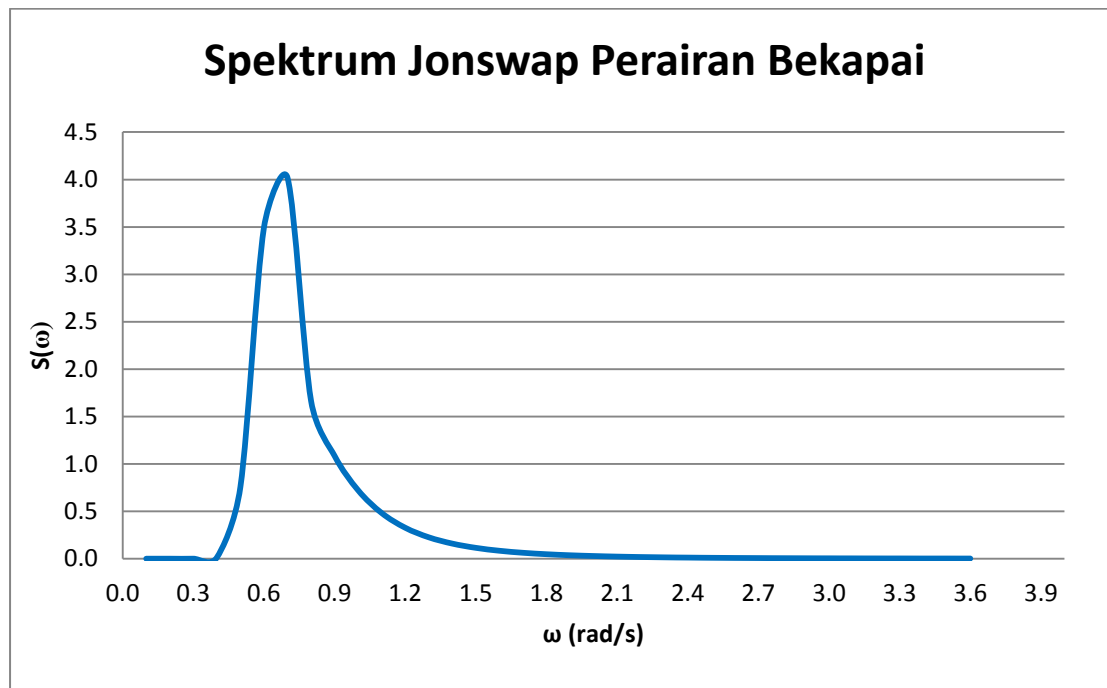
4.6 RESPON GERAK STRUKTUR AKIBAT BEBAN GELOMBANG ACAK

Gelombang acak yang didekomposisi pada prinsipnya diwakili oleh luasan di bawah kurva spektra, yang dibagi menjadi pias-pias berdasarkan kenaikan frekuensinya. Sedangkan komponen-komponen respon sinusoidal sudah diwakili oleh kurva *response amplitude operator* yang telah didapat sebelumnya. Secara sederhana respon gerak struktur oleh beban gelombang acak dapat diketahui dengan cara mengkalikan spektrum gelombang dengan harga kuadrat dari *response amplitude*

operator, seperti halnya dalam persamaan 2.18. Proses berikutnya adalah menentukan nilai stokastik dari spektra respon berupa amplitudo signifikan struktur kemudian akan dibandingkan antara kedua model yang dianalisa.

4.6.1 Spektrum Gelombang JONSWAP

Pemilihan metode perhitungan spektrum gelombang JONSWAP sesuai dengan kriteria lokasi *platform* yang berada pada perairan yang tertutup. Hal ini juga diperkuat oleh data spektrum yang didapat dari dokumen *metocean* perairan Bekapai, Kalimantan Timur. Dari dokumen tersebut juga telah ditentukan parameter-parameter yang dibutuhkan seperti nilai panjang *fetch* efektif, kecepatan angin, parameter bentuk dan parameter ketinggian (selengkapnya ada pada lampiran).

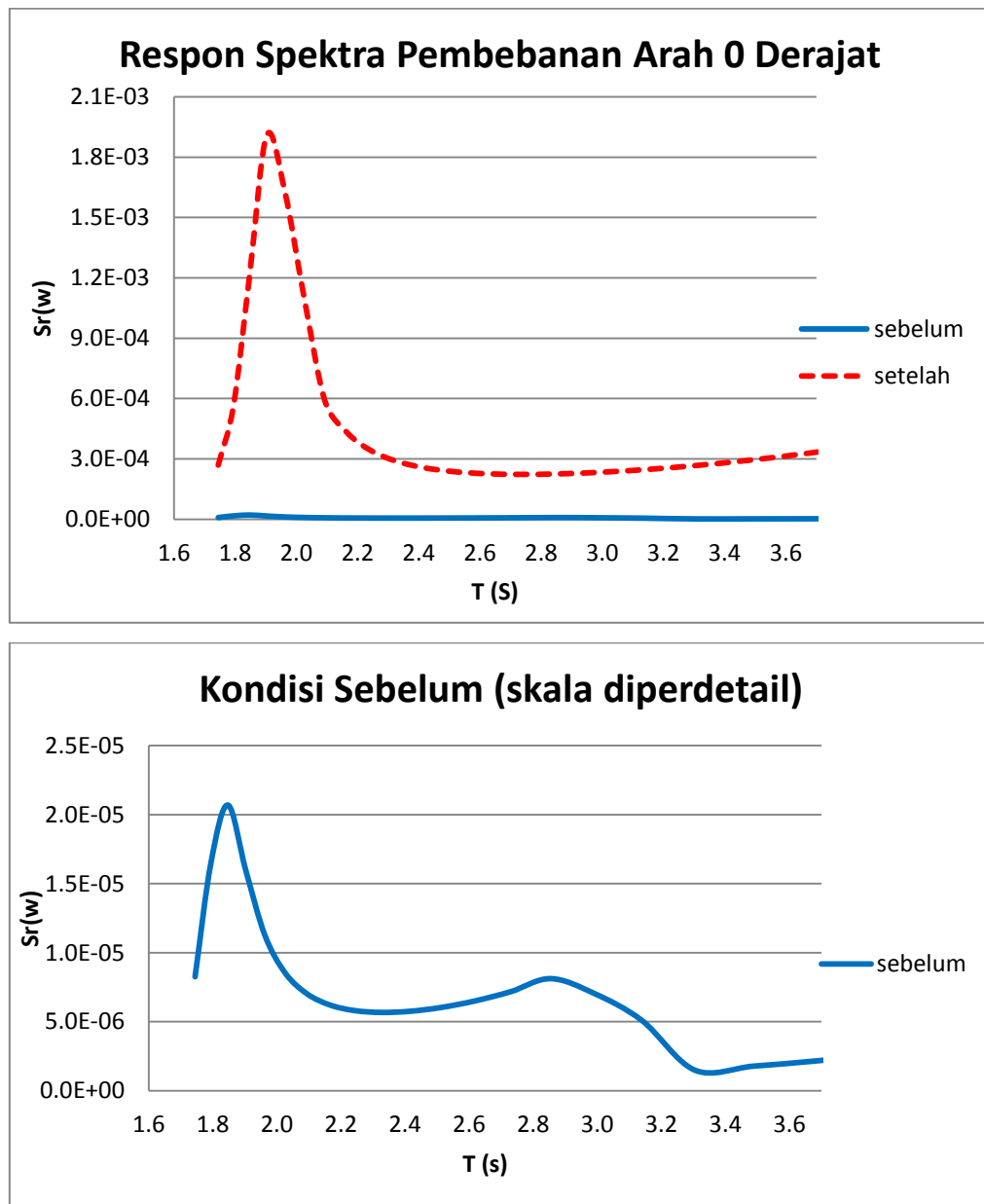


Gambar 4.10 Spektrum Gelombang JONSWAP pada Perairan Bekapai

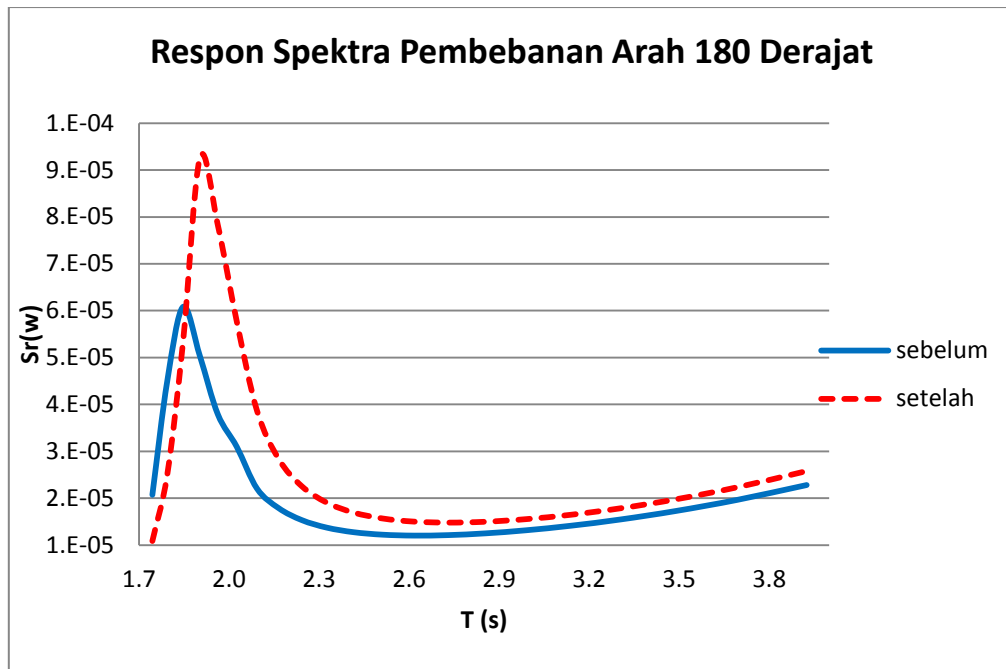
4.6.2 Nilai Signifikan Respon Gerak Struktur Akibat Eksitasi Gelombang Acak

Dengan telah diperolehnya luasan respon spektra (respon spektra didapat dari nilai kuadrat RAO dikalikan dengan spektrum gelombang) kemudian dapat dihitung nilai-nilai stokastik amplitudo dari respon gerak struktur, seperti yang akan ditampilkan dalam tabel 4.10 di bawah ini. Nilai stokastik akan dihitung dengan memakai persamaan pada tabel 2.2. berikut ini merupakan respon spektra dari respon

gerak dari 2 arah pembebanan yang berdampak pada perubahan defleksi paling signifikan:



Gambar 4.11 Respon Spektra Struktur Arah Pembebanan 0^0



Gambar 4.12 Respon Spektra Struktur Arah Pembebanan 180⁰

Tabel 4.10 di bawah ini memaparkan hasil dari nilai signifikan respon gerak struktur oleh eksitasi gelombang acak untuk setiap arah pembebanannya.

Tabel 4.10 Nilai Stokastik Respon Gerakan Oleh Gelombang Acak

Arah Pembebanan (derajat)	Sebelum		Setelah		Perubahan
	u signifikan		u signifikan		u signifikan
	m	cm	m	cm	cm
0	0.007	0.7	0.08	8	7.3
45	0.013	1.3	0.015	1.5	0.2
90	0.012	1.2	0.013	1.3	0.1
135	0.012	1.2	0.01	1	-0.2
180	0.017	1.7	0.022	2.2	0.5
225	0.012	1.2	0.01	1	-0.2
270	0.012	1.2	0.015	1.5	0.3
315	0.013	1.38	0.013	1.3	-0.08

4.7 KOMPARASI DAN EVALUASI

Berdasarkan hasil komparasi yang telah dibahas sebelumnya, perubahan respon gerak struktur paling signifikan terjadi pada arah pembebanan 0⁰ dan 180⁰ yang akan diilustrasikan pada gambar 4.13 dibawah ini. Gambar di bawah ini menjelaskan bahwa pada pembebanan dengan arah 0⁰ dan 180⁰ terjadi perubahan defleksi yang cukup signifikan akibat penambahan beban operasional berupa *water tank*. Analisa ini

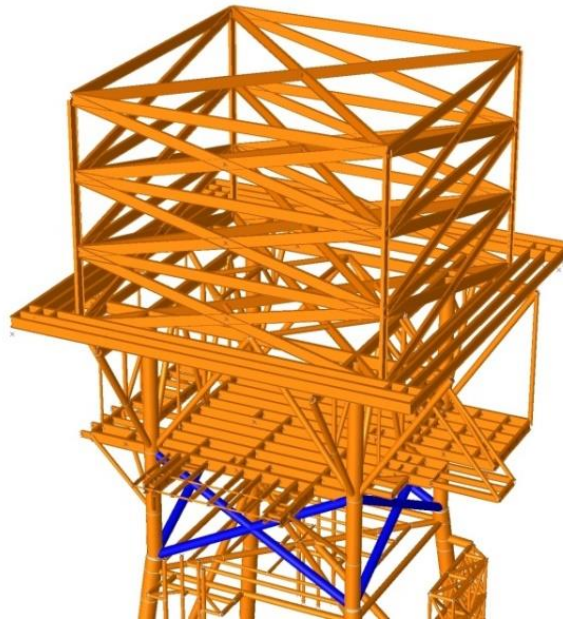
dibuat sebagai dasar dalam menentukan strategi mitigasi yang sesuai dan optimum, untuk mengurangi ketidaknyamanan personil yang bekerja diatas *rig*.



Gambar 4.13 Ilustrasi Arah Pembebanan pada Struktur dimana Terjadi Perubahan Defleksi paling Signifikan

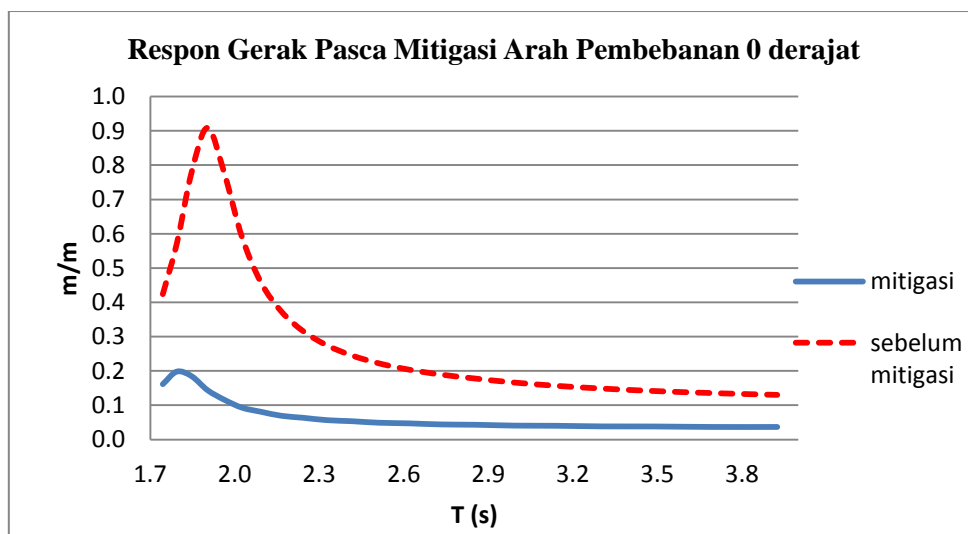
4.8 REKOMENDASI MITIGASI

API RP 2A-WSD pada *section* 17.8 yang membahas tentang mitigasi menjelaskan bahwa secara umum tindakan mitigasi yang harus dilakukan adalah dengan memodifikasi konfigurasi struktur untuk menambah kapasitas atau dengan mengurangi beban yang ditanggung oleh struktur. Rekomendasi mitigasi yang disarankan oleh penulis adalah dengan cara menambah kekakuan struktur atau mengurangi beban *massa* struktur yang keberadaanya akan mengurangi defleksi dan periode natural struktur pada daerah arah pembebanan gelombang 0^0 dan 180^0 . Dengan demikian penambahan kekakuan atau pengurangan beban *massa* pada struktur diharapkan dapat mengurangi nilai respon gerak (defleksi) yang ditimbulkan. Contohnya adalah dengan menambahkan member-member diagonal penegar baru pada area sekitar sisi struktur yang terdampak beban gelombang dengan arah pembebanan 0^0 dan 180^0 , sehingga dapat mereduksi defleksi yang ditimbulkan. Gambar dibawah ini adalah simulasi penambahan kekakuan berupa X-brace pada area di bawah *cellar deck* untuk mengurangi defleksi dan periode natural.

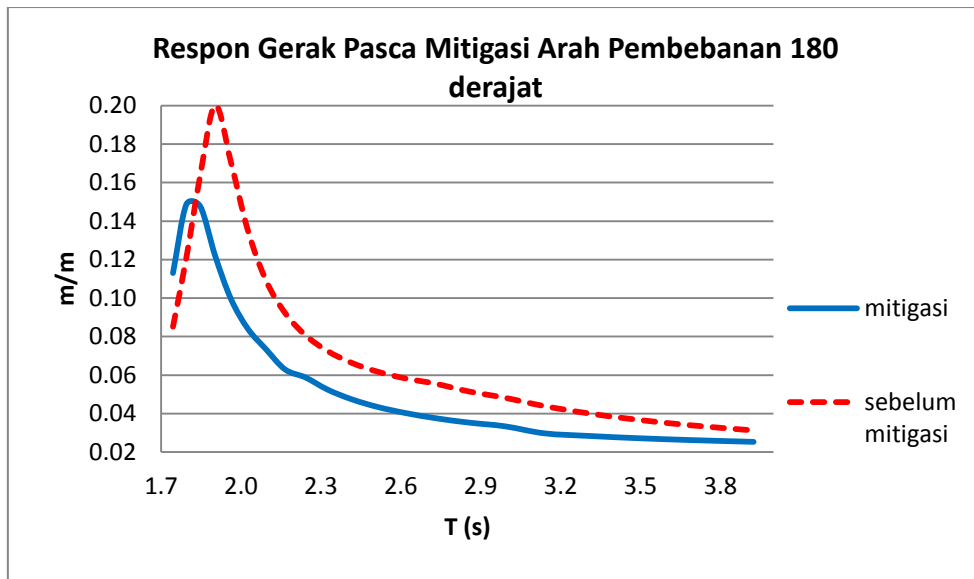


Gambar 4.14 Ilustrasi Simulasi Mitigasi dengan Menambahkan Kekakuan

Simulasi perencanaan mitigasi yang telah dilakukan tidak mempertimbangkan faktor optimasi dan hanya dibandingkan dengan pembebanan gelombang reguler. Properti material yang dipakai untuk member baru (berwarna biru) disamakan dengan properti *brace* pada *jacket* (ASTM A25, berdiameter 18 in, ketebalan 0.75 in dan densitas 7.849 ton/m³). Pengurangan respon gerak struktur terjadi pasca mitigasi seperti yang akan ditampilkan pada dua grafik respon gerak struktur dibawah yang membandingkan antara respon gerak pada skema sebelum dan sesudah mitigasi pada struktur yang telah ditambah beban operasional.



Gambar 4.15 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 0° Sebelum dan Sesudah Mitigasi



Gambar 4.16 Respon Gerak Struktur Arah Pembebanan 180⁰ Sebelum dan Sesudah Mitigasi

Tabel 4.11-4.13 menunjukkan perubahan respon gerak struktur berupa penurunan defleksi dan periode natural beserta perubahan *centre of gravity* yang terjadi setelah mitigasi dilakukan.

Tabel 4.11 Respon Gerak Struktur Maksimum Sebelum dan Setelah Mitigasi

Arah Pembebanan (derajat)	Sebelum Mitigasi		Setelah Mitigasi		Perubahan
	u max		u max		u signifikan
	m	cm	m	cm	cm
0	0.098	9.809	0.019	1.981	-7.828
45	0.02	2.002	0.014	1.486	-0.516

Tabel 4.12 Periode Natural Struktur Sebelum dan Setelah Mitigasi

Periode Natural Struktur (Sec)	
Mula-mula	Pasca Mitigasi
1.896	1.803

Tabel 4.13 COG Struktur Sebelum dan Setelah Mitigasi

COG Struktur	Sebelum Mitigasi (m)			Setelah Mitigasi (m)		
	x	y	z	x	y	z
	0.33	0.03	-7.27	0.31	0.03	-6.43

Simulasi yang telah dilakukan telah berhasil memberikan dampak yang signifikan terhadap pengurangan respon gerak struktur. Ini membuktikan bahwa asumsi penambahan kekakuan struktur memang dapat mengurangi respon gerak struktur.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan berdasarkan topik dari studi kasus, antara lain:

1. Dampak penambahan beban operasional pada respon gerak struktur Bekapai BQ *Platform* adalah bertambahnya nilai periode natural dan defleksi pada struktur. Hal ini diduga karena adanya penambahan massa struktur.
2. Dari hasil analisis yang telah dilakukan disimpulkan bahwa adanya perubahan periode natural dari 1.819 detik menjadi 1.896 detik. Defleksi yang ditinjau adalah defleksi signifikan oleh eksitasi gelombang acak. Pada arah pembebanan 0^0 terjadi perubahan defleksi signifikan dari 0.7 cm menjadi 8 cm. Pada arah pembebanan 180^0 terjadi perubahan defleksi signifikan dari 1.7 cm menjadi 2.2 cm.
3. Telah disimulasikan rekomendasi mitigasi dengan menambahkan kekakuan berupa konfigurasi struktur baru berupa X *brace* pada area di bawah *cellar deck*, dengan properti material yang sama dengan properti *brace* pada *jacket*. Setelah disimulasikan mitigasi tersebut menghasilkan pengurangan respon gerak struktur yang meliputi penurunan nilai periode natural (dari 1.896 detik menjadi 1.803 detik) dan defleksi maksimum akibat eksitasi gelombang reguler: oleh arah pembebanan 0^0 dari 9.809 cm menjadi 1.981 cm dan oleh arah pembebanan 180^0 dari 2.002 cm menjadi 1.486 cm.

5.2 Saran

Berikut ini merupakan masukan dan saran untuk penelitian selanjutnya yang mempunyai topik seupa tentnag respon gerak *platform*:

1. Dilengkapi dengan *velocity* dan *acceleration* defleksi yang terjadi agar menggambarkan secara utuh respon dinamis pada struktur yang ditinjau
2. Dilakukan optimasi dalam perencanaan mitigasi yang dilakukan

DAFTAR PUSTAKA

- API RP 2A-WSD 21st Edition. 2007. **Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platform**. American Petroleum Institute, Washington D.C.
- Bhattacharyya, Rameswar. 1978. **Dynamics of Marine Vehicles**. U.S. Naval Academy, Maryland.
- Budio, Sugeng. 2012. **Buku Ajar Dinamika Struktur**. Universitas Brawijaya, Malang.
- Chopra, Anil K. 1995. **Dynamic of Structures**. University of Michigan, USA
- Djarmiko, Eko Budi. 2012. **Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di atas Gelombang Acak**. ITS Press, Surabaya.
- Graff, W.J. 1981. **Introduction to Offshore Structures**. University of Houston, USA
- McClelland, B., et. All. 1986. **Planning and Designing of Fixed Offshore Platforms**. Van Norstand Reinhold, New York.
- Paramuda Jaya, PT. 1997. **1997_LQP-STRUC_Design Re-Appraisal for SLE**. PT. Paramuda Jaya, Jakarta.
- Soedjono, J. J. 1999. **Teknologi Produksi dan Perawatan Bangunan Laut**. Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Soegiono, 2004. **Teknologi Produksi dan Perawatan Bangunan Laut**. Airlangga Press, Surabaya.
- Technip Indonesia, PT. 2013. **In-Place Static And Dynamic Analysis**. PT. Technip Indonesia, Jakarta.

Sunday, July 26, 2015
2:02 PM

TOTAL BEKAPAI QUARTERS PLATFORM

```

*
*****
*          CLIENT          : TOTAL INDONESIA          *
*                                                                *
*          JOB NO.         : 3139                     *
*          PROJECT         : ADDITIONAL FRESH WATER TANK *
*          REVISION        : -                         *
*          LAST UPDATE     :                           *
*          BY              : TECHNIP INDONESIA - JAKARTA *
*****
*
PSIOPT +ZMN          SM    0.001  0.0001  50          PTPF          100          7.85
PLTRQ SD   DA   DL   RL   ML   AL   SL   AS   LS   UC
PLGRUP
PLGRUP PL1          76.2  4.44519.9957.997924.821  12.192
PLGRUP PL1          76.2  3.81019.9957.997924.821   3.048
PLGRUP PL1          76.2  3.17519.9957.997924.821   6.096
PLGRUP PL1          76.2  2.54019.9957.997924.821   3.048
PLGRUP PL1          76.2  1.90519.9957.997924.821   3.048
PLGRUP PL1          76.2  1.27019.9957.997924.821  34.976
PLGRUP PL1          76.2  2.54019.9957.997924.821    1.5          0.0587
PILE
PILE  102 202 PL1          SOL1
PILE  104 204 PL1          SOL1
PILE  106 206 PL1          SOL1
PILE  108 208 PL1          SOL1
SOIL
SOIL TZAPI  HEAD  9          SOL1 API TZ/QZ CURVE
SOIL API AXL SLOC  0.00  1.20 CLAY .0001          0.320
SOIL API AXL SLOC  1.21  10.0 CLAY .0004          0.400
SOIL API AXL SLOC 10.00 16.00 CLAY .0012          0.495
SOIL API AXL SLOC 16.00 29.00 CLAY .0030          0.635
SOIL API AXL SLOC 29.00 32.00 CLAY .0055          0.760
SOIL API AXL SLOC 32.00 42.00 CLAY .0055          0.750
SOIL API AXL SLOC 42.00 59.50 CLAY .0080          0.730
SOIL API AXL SLOC 59.50 65.00 CLAY .0100          0.745
SOIL API AXL SLOC 65.0  91.00 CLAY .0129          0.800
SOIL TORSION HEAD          20000.0SOL1TORSION SPRING
SOIL LATERAL HEAD  9          76.20          SOL1 API PY CURVE
SOIL          SLOCSM  3          0.00
SOIL          P-Y  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
SOIL          SLOCSM  3          5.00
SOIL          P-Y  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
SOIL          SLOCSM  3          10.0
SOIL          P-Y  0.00  0.00  0.533  1.90  0.533  5.00
SOIL          SLOCSM  3          16.0
SOIL          P-Y  0.00  0.00  1.143  1.90  1.175  5.00
SOIL          SLOCSM  3          29.0
SOIL          P-Y  0.00  0.00  2.591  1.90  2.563  5.00
SOIL          SLOCSM  3          32.0
SOIL          P-Y  0.00  0.00  2.896  1.90  2.883  5.00
SOIL          SLOCSM  3          42.0
SOIL          P-Y  0.00  0.00  3.962  1.90  3.951  5.00
SOIL          SLOCSM  3          59.5
SOIL          P-Y  0.00  0.00  5.791  1.90  5.767  5.00
SOIL          SLOCSM  3          65.0
SOIL          P-Y  0.00  0.00  6.401  1.90  6.407  5.00
END

```


Sunday, August 2, 2015
5:50 PM

1	JCNOPT API MN	7.5	7.5	C	NID					MAMX									✓
2	LCSEL IN	100	101	102	103	104	105	106	107	108	201	202	203						✓
3	LCSEL IN	204	204	206	207	208													✓
4	RELIEF																		✓
5	JSLC	151115011001100515151505100315101503100715071513	701	705	703	401	405	40											✓
6	JSLC	407	301	305	303	307	201	205	203	207	326	226							✓
7	END																		✓
8																			✓
9																			✓

1. Perhitungan Respon Gerak Struktur Akibat Beban Gelombang Reguler

Nilai u (cm) didapat dari *output* perhitungan defleksi struktur dari *software* SACS

0 derajat

SEBELUM						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	0.743	0.007	0.074
2	3.5	1.79	0.2	0.980	0.010	0.098
3	3.4	1.85	0.2	1.019	0.010	0.102
4	3.3	1.90	0.2	0.831	0.008	0.083
5	3.2	1.96	0.2	0.646	0.006	0.065
6	3.1	2.03	0.2	0.520	0.005	0.052
7	3.0	2.09	0.2	0.435	0.004	0.043
8	2.9	2.17	0.2	0.376	0.004	0.038
9	2.8	2.24	0.2	0.333	0.003	0.033
10	2.7	2.33	0.2	0.300	0.003	0.030
11	2.6	2.42	0.2	0.275	0.003	0.028
12	2.5	2.51	0.2	0.256	0.003	0.026
13	2.4	2.62	0.2	0.240	0.002	0.024
14	2.3	2.73	0.2	0.227	0.002	0.023
15	2.2	2.85	0.2	0.216	0.002	0.022
16	2.1	2.99	0.2	0.179	0.002	0.018
17	2.0	3.14	0.2	0.135	0.001	0.013
18	1.9	3.31	0.2	0.064	0.001	0.006
19	1.8	3.49	0.2	0.062	0.001	0.006
20	1.7	3.69	0.2	0.059	0.001	0.006
21	1.6	3.93	0.2	0.057	0.001	0.006

SETELAH						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	4.239	0.042	0.424
2	3.5	1.79	0.2	5.720	0.057	0.572
3	3.4	1.85	0.2	7.803	0.078	0.780
4	3.3	1.90	0.2	9.089	0.091	0.909
5	3.2	1.96	0.2	7.771	0.078	0.777
6	3.1	2.03	0.2	5.895	0.059	0.589
7	3.0	2.09	0.2	4.573	0.046	0.457
8	2.9	2.17	0.2	3.730	0.037	0.373
9	2.8	2.24	0.2	3.158	0.032	0.316
10	2.7	2.33	0.2	2.751	0.028	0.275
11	2.6	2.42	0.2	2.450	0.025	0.245
12	2.5	2.51	0.2	2.220	0.022	0.222
13	2.4	2.62	0.2	2.040	0.020	0.204
14	2.3	2.73	0.2	1.895	0.019	0.189
15	2.2	2.85	0.2	1.777	0.018	0.178
16	2.1	2.99	0.2	1.679	0.017	0.168
17	2.0	3.14	0.2	1.567	0.016	0.157
18	1.9	3.31	0.2	1.634	0.016	0.163
19	1.8	3.49	0.2	1.698	0.017	0.170
20	1.7	3.69	0.2	1.761	0.018	0.176
21	1.6	3.93	0.2	1.822	0.018	0.182

45 derajat

SEBELUM						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	1.059	0.011	0.106
2	3.5	1.79	0.2	1.446	0.014	0.145
3	3.4	1.85	0.2	1.484	0.015	0.148
4	3.3	1.90	0.2	1.192	0.012	0.119
5	3.2	1.96	0.2	0.916	0.009	0.092
6	3.1	2.03	0.2	0.727	0.007	0.073
7	3.0	2.09	0.2	0.600	0.006	0.060
8	2.9	2.17	0.2	0.513	0.005	0.051
9	2.8	2.24	0.2	0.449	0.004	0.045
10	2.7	2.33	0.2	0.401	0.004	0.040
11	2.6	2.42	0.2	0.364	0.004	0.036
12	2.5	2.51	0.2	0.337	0.003	0.034
13	2.4	2.62	0.2	0.315	0.003	0.031
14	2.3	2.73	0.2	0.300	0.003	0.030
15	2.2	2.85	0.2	0.285	0.003	0.028
16	2.1	2.99	0.2	0.276	0.003	0.028
17	2.0	3.14	0.2	0.307	0.003	0.031
18	1.9	3.31	0.2	0.300	0.003	0.030
19	1.8	3.49	0.2	0.295	0.003	0.029
20	1.7	3.69	0.2	0.290	0.003	0.029
21	1.6	3.93	0.2	0.286	0.003	0.029

SETELAH						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	0.733	0.007	0.073
2	3.5	1.79	0.2	0.991	0.010	0.099
3	3.4	1.85	0.2	1.355	0.014	0.136
4	3.3	1.90	0.2	1.582	0.016	0.158
5	3.2	1.96	0.2	1.355	0.014	0.135
6	3.1	2.03	0.2	1.030	0.010	0.103
7	3.0	2.09	0.2	0.800	0.008	0.080
8	2.9	2.17	0.2	0.650	0.006	0.065
9	2.8	2.24	0.2	0.548	0.005	0.055
10	2.7	2.33	0.2	0.475	0.005	0.047
11	2.6	2.42	0.2	0.421	0.004	0.042
12	2.5	2.51	0.2	0.380	0.004	0.038
13	2.4	2.62	0.2	0.348	0.003	0.035
14	2.3	2.73	0.2	0.322	0.003	0.032
15	2.2	2.85	0.2	0.300	0.003	0.030
16	2.1	2.99	0.2	0.283	0.003	0.028
17	2.0	3.14	0.2	0.313	0.003	0.031
18	1.9	3.31	0.2	0.297	0.003	0.030
19	1.8	3.49	0.2	0.283	0.003	0.028
20	1.7	3.69	0.2	0.271	0.003	0.027
21	1.6	3.93	0.2	0.260	0.003	0.026

90 derajat

SEBELUM						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	1.103	0.011	0.110
2	3.5	1.79	0.2	1.427	0.014	0.143
3	3.4	1.85	0.2	1.456	0.015	0.146
4	3.3	1.90	0.2	1.242	0.012	0.124
5	3.2	1.96	0.2	0.949	0.009	0.095
6	3.1	2.03	0.2	0.751	0.008	0.075
7	3.0	2.09	0.2	0.617	0.006	0.062
8	2.9	2.17	0.2	0.524	0.005	0.052
9	2.8	2.24	0.2	0.456	0.005	0.046
10	2.7	2.33	0.2	0.405	0.004	0.041
11	2.6	2.42	0.2	0.366	0.004	0.037
12	2.5	2.51	0.2	0.334	0.003	0.033
13	2.4	2.62	0.2	0.308	0.003	0.031
14	2.3	2.73	0.2	0.287	0.003	0.029
15	2.2	2.85	0.2	0.269	0.003	0.027
16	2.1	2.99	0.2	0.254	0.003	0.025
17	2.0	3.14	0.2	0.240	0.002	0.024
18	1.9	3.31	0.2	0.229	0.002	0.023
19	1.8	3.49	0.2	0.220	0.002	0.022
20	1.7	3.69	0.2	0.212	0.002	0.021
21	1.6	3.93	0.2	0.204	0.002	0.020

SETELAH						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	0.710	0.007	0.071
2	3.5	1.79	0.2	0.953	0.010	0.095
3	3.4	1.85	0.2	1.295	0.013	0.129
4	3.3	1.90	0.2	1.501	0.015	0.150
5	3.2	1.96	0.2	1.278	0.013	0.128
6	3.1	2.03	0.2	0.965	0.010	0.097
7	3.0	2.09	0.2	0.746	0.007	0.075
8	2.9	2.17	0.2	0.602	0.006	0.060
9	2.8	2.24	0.2	0.504	0.005	0.050
10	2.7	2.33	0.2	0.434	0.004	0.043
11	2.6	2.42	0.2	0.383	0.004	0.038
12	2.5	2.51	0.2	0.343	0.003	0.034
13	2.4	2.62	0.2	0.312	0.003	0.031
14	2.3	2.73	0.2	0.287	0.003	0.029
15	2.2	2.85	0.2	0.267	0.003	0.027
16	2.1	2.99	0.2	0.249	0.002	0.025
17	2.0	3.14	0.2	0.235	0.002	0.024
18	1.9	3.31	0.2	0.223	0.002	0.022
19	1.8	3.49	0.2	0.212	0.002	0.021
20	1.7	3.69	0.2	0.203	0.002	0.020
21	1.6	3.93	0.2	0.195	0.002	0.020

135 derajat

SEBELUM						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	0.956	0.010	0.096
2	3.5	1.79	0.2	1.332	0.013	0.133
3	3.4	1.85	0.2	1.456	0.015	0.146
4	3.3	1.90	0.2	1.242	0.012	0.124
5	3.2	1.96	0.2	0.996	0.010	0.100
6	3.1	2.03	0.2	0.790	0.008	0.079
7	3.0	2.09	0.2	0.650	0.007	0.065
8	2.9	2.17	0.2	0.555	0.006	0.056
9	2.8	2.24	0.2	0.486	0.005	0.049
10	2.7	2.33	0.2	0.434	0.004	0.043
11	2.6	2.42	0.2	0.394	0.004	0.039
12	2.5	2.51	0.2	0.362	0.004	0.036
13	2.4	2.62	0.2	0.336	0.003	0.034
14	2.3	2.73	0.2	0.314	0.003	0.031
15	2.2	2.85	0.2	0.295	0.003	0.029
16	2.1	2.99	0.2	0.279	0.003	0.028
17	2.0	3.14	0.2	0.306	0.003	0.031
18	1.9	3.31	0.2	0.300	0.003	0.030
19	1.8	3.49	0.2	0.295	0.003	0.029
20	1.7	3.69	0.2	0.290	0.003	0.029
21	1.6	3.93	0.2	0.286	0.003	0.029

SETELAH						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	0.331	0.003	0.033
2	3.5	1.79	0.2	0.477	0.005	0.048
3	3.4	1.85	0.2	0.691	0.007	0.069
4	3.3	1.90	0.2	0.851	0.009	0.085
5	3.2	1.96	0.2	0.767	0.008	0.077
6	3.1	2.03	0.2	0.615	0.006	0.062
7	3.0	2.09	0.2	0.497	0.005	0.050
8	2.9	2.17	0.2	0.401	0.004	0.040
9	2.8	2.24	0.2	0.370	0.004	0.037
10	2.7	2.33	0.2	0.319	0.003	0.032
11	2.6	2.42	0.2	0.294	0.003	0.029
12	2.5	2.51	0.2	0.272	0.003	0.027
13	2.4	2.62	0.2	0.256	0.003	0.026
14	2.3	2.73	0.2	0.243	0.002	0.024
15	2.2	2.85	0.2	0.233	0.002	0.023
16	2.1	2.99	0.2	0.224	0.002	0.022
17	2.0	3.14	0.2	0.204	0.002	0.020
18	1.9	3.31	0.2	0.208	0.002	0.021
19	1.8	3.49	0.2	0.212	0.002	0.021
20	1.7	3.69	0.2	0.217	0.002	0.022
21	1.6	3.93	0.2	0.221	0.002	0.022

180 derajat

SEBELUM						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	1.176	0.012	0.118
2	3.5	1.79	0.2	1.617	0.016	0.162
3	3.4	1.85	0.2	1.748	0.017	0.175
4	3.3	1.90	0.2	1.475	0.015	0.147
5	3.2	1.96	0.2	1.186	0.012	0.119
6	3.1	2.03	0.2	0.990	0.010	0.099
7	3.0	2.09	0.2	0.816	0.008	0.082
8	2.9	2.17	0.2	0.694	0.007	0.069
9	2.8	2.24	0.2	0.606	0.006	0.061
10	2.7	2.33	0.2	0.538	0.005	0.054
11	2.6	2.42	0.2	0.485	0.005	0.048
12	2.5	2.51	0.2	0.443	0.004	0.044
13	2.4	2.62	0.2	0.409	0.004	0.041
14	2.3	2.73	0.2	0.381	0.004	0.038
15	2.2	2.85	0.2	0.357	0.004	0.036
16	2.1	2.99	0.2	0.337	0.003	0.034
17	2.0	3.14	0.2	0.422	0.004	0.042
18	1.9	3.31	0.2	0.408	0.004	0.041
19	1.8	3.49	0.2	0.397	0.004	0.040
20	1.7	3.69	0.2	0.389	0.004	0.039
21	1.6	3.93	0.2	0.381	0.004	0.038

SETELAH						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	0.852	0.009	0.085
2	3.5	1.79	0.2	1.208	0.012	0.121
3	3.4	1.85	0.2	1.640	0.016	0.164
4	3.3	1.90	0.2	2.002	0.020	0.200
5	3.2	1.96	0.2	1.704	0.017	0.170
6	3.1	2.03	0.2	1.351	0.014	0.135
7	3.0	2.09	0.2	1.093	0.011	0.109
8	2.9	2.17	0.2	0.923	0.009	0.092
9	2.8	2.24	0.2	0.806	0.008	0.081
10	2.7	2.33	0.2	0.724	0.007	0.072
11	2.6	2.42	0.2	0.664	0.007	0.066
12	2.5	2.51	0.2	0.618	0.006	0.062
13	2.4	2.62	0.2	0.583	0.006	0.058
14	2.3	2.73	0.2	0.555	0.006	0.056
15	2.2	2.85	0.2	0.533	0.005	0.053
16	2.1	2.99	0.2	0.515	0.005	0.052
17	2.0	3.14	0.2	0.501	0.005	0.050
18	1.9	3.31	0.2	0.490	0.005	0.049
19	1.8	3.49	0.2	0.481	0.005	0.048
20	1.7	3.69	0.2	0.474	0.005	0.047
21	1.6	3.93	0.2	0.469	0.005	0.047

225 derajat

SEBELUM						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	0.956	0.010	0.096
2	3.5	1.79	0.2	1.237	0.012	0.124
3	3.4	1.85	0.2	1.359	0.014	0.136
4	3.3	1.90	0.2	1.087	0.011	0.109
5	3.2	1.96	0.2	0.889	0.009	0.089
6	3.1	2.03	0.2	0.781	0.008	0.078
7	3.0	2.09	0.2	0.646	0.006	0.065
8	2.9	2.17	0.2	0.552	0.006	0.055
9	2.8	2.24	0.2	0.480	0.005	0.048
10	2.7	2.33	0.2	0.427	0.004	0.043
11	2.6	2.42	0.2	0.387	0.004	0.039
12	2.5	2.51	0.2	0.353	0.004	0.035
13	2.4	2.62	0.2	0.328	0.003	0.033
14	2.3	2.73	0.2	0.307	0.003	0.031
15	2.2	2.85	0.2	0.290	0.003	0.029
16	2.1	2.99	0.2	0.276	0.003	0.028
17	2.0	3.14	0.2	0.305	0.003	0.030
18	1.9	3.31	0.2	0.300	0.003	0.030
19	1.8	3.49	0.2	0.301	0.003	0.030
20	1.7	3.69	0.2	0.303	0.003	0.030
21	1.6	3.93	0.2	0.305	0.003	0.031

SETELAH						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	0.307	0.003	0.031
2	3.5	1.79	0.2	0.445	0.004	0.044
3	3.4	1.85	0.2	0.647	0.006	0.065
4	3.3	1.90	0.2	0.801	0.008	0.080
5	3.2	1.96	0.2	0.724	0.007	0.072
6	3.1	2.03	0.2	0.579	0.006	0.058
7	3.0	2.09	0.2	0.472	0.005	0.047
8	2.9	2.17	0.2	0.401	0.004	0.040
9	2.8	2.24	0.2	0.353	0.004	0.035
10	2.7	2.33	0.2	0.319	0.003	0.032
11	2.6	2.42	0.2	0.294	0.003	0.029
12	2.5	2.51	0.2	0.275	0.003	0.027
13	2.4	2.62	0.2	0.260	0.003	0.026
14	2.3	2.73	0.2	0.249	0.002	0.025
15	2.2	2.85	0.2	0.240	0.002	0.024
16	2.1	2.99	0.2	0.233	0.002	0.023
17	2.0	3.14	0.2	0.251	0.003	0.025
18	1.9	3.31	0.2	0.252	0.003	0.025
19	1.8	3.49	0.2	0.255	0.003	0.025
20	1.7	3.69	0.2	0.257	0.003	0.026
21	1.6	3.93	0.2	0.260	0.003	0.026

270 derajat

SEBELUM						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	1.169	0.012	0.117
2	3.5	1.79	0.2	1.522	0.015	0.152
3	3.4	1.85	0.2	1.554	0.016	0.155
4	3.3	1.90	0.2	1.244	0.012	0.124
5	3.2	1.96	0.2	0.950	0.010	0.095
6	3.1	2.03	0.2	0.751	0.008	0.075
7	3.0	2.09	0.2	0.618	0.006	0.062
8	2.9	2.17	0.2	0.525	0.005	0.052
9	2.8	2.24	0.2	0.457	0.005	0.046
10	2.7	2.33	0.2	0.406	0.004	0.041
11	2.6	2.42	0.2	0.366	0.004	0.037
12	2.5	2.51	0.2	0.335	0.003	0.033
13	2.4	2.62	0.2	0.309	0.003	0.031
14	2.3	2.73	0.2	0.287	0.003	0.029
15	2.2	2.85	0.2	0.270	0.003	0.027
16	2.1	2.99	0.2	0.255	0.003	0.025
17	2.0	3.14	0.2	0.242	0.002	0.024
18	1.9	3.31	0.2	0.231	0.002	0.023
19	1.8	3.49	0.2	0.221	0.002	0.022
20	1.7	3.69	0.2	0.213	0.002	0.021
21	1.6	3.93	0.2	0.205	0.002	0.021

SETELAH						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	0.568	0.006	0.057
2	3.5	1.79	0.2	0.763	0.008	0.076
3	3.4	1.85	0.2	1.036	0.010	0.104
4	3.3	1.90	0.2	1.201	0.012	0.120
5	3.2	1.96	0.2	1.023	0.010	0.102
6	3.1	2.03	0.2	0.785	0.008	0.079
7	3.0	2.09	0.2	0.646	0.006	0.065
8	2.9	2.17	0.2	0.562	0.006	0.056
9	2.8	2.24	0.2	0.504	0.005	0.050
10	2.7	2.33	0.2	0.463	0.005	0.046
11	2.6	2.42	0.2	0.434	0.004	0.043
12	2.5	2.51	0.2	0.412	0.004	0.041
13	2.4	2.62	0.2	0.395	0.004	0.040
14	2.3	2.73	0.2	0.383	0.004	0.038
15	2.2	2.85	0.2	0.373	0.004	0.037
16	2.1	2.99	0.2	0.366	0.004	0.037
17	2.0	3.14	0.2	0.345	0.003	0.034
18	1.9	3.31	0.2	0.342	0.003	0.034
19	1.8	3.49	0.2	0.340	0.003	0.034
20	1.7	3.69	0.2	0.339	0.003	0.034
21	1.6	3.93	0.2	0.338	0.003	0.034

315 derajat

SEBELUM						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	0.882	0.009	0.088
2	3.5	1.79	0.2	1.237	0.012	0.124
3	3.4	1.85	0.2	1.359	0.014	0.136
4	3.3	1.90	0.2	1.164	0.012	0.116
5	3.2	1.96	0.2	0.949	0.009	0.095
6	3.1	2.03	0.2	0.797	0.008	0.080
7	3.0	2.09	0.2	0.658	0.007	0.066
8	2.9	2.17	0.2	0.562	0.006	0.056
9	2.8	2.24	0.2	0.492	0.005	0.049
10	2.7	2.33	0.2	0.439	0.004	0.044
11	2.6	2.42	0.2	0.398	0.004	0.040
12	2.5	2.51	0.2	0.364	0.004	0.036
13	2.4	2.62	0.2	0.338	0.003	0.034
14	2.3	2.73	0.2	0.314	0.003	0.031
15	2.2	2.85	0.2	0.295	0.003	0.029
16	2.1	2.99	0.2	0.278	0.003	0.028
17	2.0	3.14	0.2	0.304	0.003	0.030
18	1.9	3.31	0.2	0.300	0.003	0.030
19	1.8	3.49	0.2	0.301	0.003	0.030
20	1.7	3.69	0.2	0.303	0.003	0.030
21	1.6	3.93	0.2	0.305	0.003	0.031

SETELAH						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	0.497	0.005	0.050
2	3.5	1.79	0.2	0.699	0.007	0.070
3	3.4	1.85	0.2	0.993	0.010	0.099
4	3.3	1.90	0.2	1.201	0.012	0.120
5	3.2	1.96	0.2	1.065	0.011	0.107
6	3.1	2.03	0.2	0.837	0.008	0.084
7	3.0	2.09	0.2	0.671	0.007	0.067
8	2.9	2.17	0.2	0.562	0.006	0.056
9	2.8	2.24	0.2	0.487	0.005	0.049
10	2.7	2.33	0.2	0.434	0.004	0.043
11	2.6	2.42	0.2	0.396	0.004	0.040
12	2.5	2.51	0.2	0.366	0.004	0.037
13	2.4	2.62	0.2	0.343	0.003	0.034
14	2.3	2.73	0.2	0.325	0.003	0.033
15	2.2	2.85	0.2	0.311	0.003	0.031
16	2.1	2.99	0.2	0.299	0.003	0.030
17	2.0	3.14	0.2	0.298	0.003	0.030
18	1.9	3.31	0.2	0.297	0.003	0.030
19	1.8	3.49	0.2	0.297	0.003	0.030
20	1.7	3.69	0.2	0.298	0.003	0.030
21	1.6	3.93	0.2	0.299	0.003	0.030

2. Perhitungan Spektrum Gelombang JONSWAP

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\
 \text{Wind speed} &= 28.015564 \text{ knots} = 14.40 \text{ m/s} \\
 \text{fetch} &= 280 \text{ Nmi} = 280,000 \text{ m} \\
 \gamma &= 3 \text{ (untuk perairan indonesia 2,5 - 3,0)}
 \end{aligned}$$

$$1 \text{ knots} = 0.51 \text{ m/s}$$

Ditanya : gambar grafik jonswap dan estimasikan $h \frac{1}{3}$

$$X_0 = g \cdot x / V_w^2$$

$$X_0$$

$$= 13246.528$$

$$\omega_0 = 7 \cdot \pi \cdot (g/V_w) \cdot (X_0)^{-0.33}$$

$$\omega_0 = 7 \times 3.14 \times (9.81/15.432) \times (15809.363)^{-0.33}$$

$$= 0.65 \text{ rad/s}$$

$$\alpha = 0.076 (X_0)^{-0.22}$$

$$\alpha = 0.076 \times (X_0)^{-0.22}$$

$$= 0.0094$$

Perhitungan spektra Jonswap

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[-1,25 (\omega/\omega_0)^{-4} \right] \gamma^{\exp \left[-\frac{(\omega m)^2}{2 \tau^2 \omega_0^2} \right]}$$

No	ω	ω_0	γ	σ	$S(\omega)$
1	0.1	0.65	3.00	0.07	0.0000
2	0.2	0.65	3.00	0.07	0.0000
3	0.3	0.65	3.00	0.07	0.0000
4	0.4	0.65	3.00	0.07	0.0120
5	0.5	0.65	3.00	0.07	0.7582
6	0.6	0.65	3.00	0.07	3.4923
7	0.7	0.65	3.00	0.07	4.0192
8	0.8	0.65	3.00	0.09	1.6655
9	0.9	0.65	3.00	0.09	1.0845
10	1.0	0.65	3.00	0.09	0.7215
11	1.1	0.65	3.00	0.09	0.4816
12	1.2	0.65	3.00	0.09	0.3263
13	1.3	0.65	3.00	0.09	0.2254
14	1.4	0.65	3.00	0.09	0.1588
15	1.5	0.65	3.00	0.09	0.1141
16	1.6	0.65	3.00	0.09	0.0835
17	1.7	0.65	3.00	0.09	0.0621
18	1.8	0.65	3.00	0.09	0.0469
19	1.9	0.65	3.00	0.09	0.0360
20	2.0	0.65	3.00	0.09	0.0279
21	2.1	0.65	3.00	0.09	0.0219
22	2.2	0.65	3.00	0.09	0.0174
23	2.3	0.65	3.00	0.09	0.0140
24	2.4	0.65	3.00	0.09	0.0113
25	2.5	0.65	3.00	0.09	0.0092
26	2.6	0.65	3.00	0.09	0.0076
27	2.7	0.65	3.00	0.09	0.0063
28	2.8	0.65	3.00	0.09	0.0052
29	2.9	0.65	3.00	0.09	0.0044
30	3.0	0.65	3.00	0.09	0.0037
31	3.1	0.65	3.00	0.09	0.0032
32	3.2	0.65	3.00	0.09	0.0027
33	3.3	0.65	3.00	0.09	0.0023
34	3.4	0.65	3.00	0.09	0.0020
35	3.5	0.65	3.00	0.09	0.0017
36	3.6	0.65	3.00	0.09	0.0015

3. Perhitungan Respon Gerak Struktur Akibat Beban Gelombang Acak

0 derajat

ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO ²	Sr(w)	Sr(w)*SM				ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO ²	Sr(w)	Sr(w)*SM
					RAO ² * S(w)										RAO ² * S(w)	
3.6	0.074	0.001497	1	0.00552	8.25607E-06	8.2561E-06				3.6	0.424	0.001497	1	0.180	0.0003	0.00026893
3.5	0.098	0.001723	4	0.00960	1.65474E-05	6.619E-05				3.5	0.572	0.001723	4	0.327	0.0006	0.00225477
3.4	0.102	0.001991	2	0.01039	2.06974E-05	4.1395E-05				3.4	0.780	0.001991	2	0.609	0.0012	0.00242528
3.3	0.083	0.002311	4	0.00690	1.5947E-05	6.3788E-05				3.3	0.909	0.002311	4	0.826	0.0019	0.00763761
3.2	0.065	0.002695	2	0.00418	1.12585E-05	2.2517E-05				3.2	0.777	0.002695	2	0.604	0.0016	0.00325542
3.1	0.052	0.0032	4	0.00270	8.53244E-06	3.413E-05				3.1	0.589	0.0032	4	0.347	0.0011	0.00438927
3.0	0.043	0.0037	2	0.00189	7.03161E-06	1.4063E-05				3.0	0.457	0.0037	2	0.209	0.0008	0.00155545
2.9	0.038	0.0044	4	0.00141	6.21379E-06	2.4855E-05				2.9	0.373	0.0044	4	0.139	0.0006	0.00245164
2.8	0.033	0.0052	2	0.00111	5.80565E-06	1.1611E-05				2.8	0.316	0.0052	2	0.100	0.0005	0.00104663
2.7	0.030	0.0063	4	0.00090	5.67415E-06	2.2697E-05				2.7	0.275	0.0063	4	0.076	0.0005	0.0019045
2.6	0.028	0.0076	2	0.00076	5.75688E-06	1.1514E-05				2.6	0.245	0.0076	2	0.060	0.0005	0.00091152
2.5	0.026	0.0092	4	0.00065	6.03044E-06	2.4122E-05				2.5	0.222	0.0092	4	0.049	0.0005	0.00181941
2.4	0.024	0.0113	2	0.00057	6.49699E-06	1.2994E-05				2.4	0.204	0.0113	2	0.042	0.0005	0.00094058
2.3	0.023	0.0140	4	0.00051	7.17949E-06	2.8718E-05				2.3	0.189	0.0140	4	0.036	0.0005	0.00200609
2.2	0.022	0.0174	2	0.00047	8.12221E-06	1.6244E-05				2.2	0.178	0.0174	2	0.032	0.0005	0.00109982
2.1	0.018	0.0219	4	0.00032	7.05281E-06	2.8211E-05				2.1	0.168	0.0219	4	0.028	0.0006	0.00247461
2.0	0.013	0.0279	2	0.00018	5.08477E-06	1.017E-05				2.0	0.157	0.0279	2	0.025	0.0007	0.00137083
1.9	0.006	0.0360	4	0.00004	1.48943E-06	5.9577E-06				1.9	0.163	0.0360	4	0.027	0.0010	0.00383908
1.8	0.006	0.0469	2	0.00004	1.78331E-06	3.5666E-06				1.8	0.170	0.0469	2	0.029	0.0014	0.00270604
1.7	0.006	0.0621	4	0.00004	2.1826E-06	8.7304E-06				1.7	0.176	0.0621	4	0.031	0.0019	0.00770187
1.6	0.006	0.0835	1	0.00003	2.73217E-06	2.7322E-06				1.6	0.182	0.0835	1	0.033	0.0028	0.00277277
					$\Sigma 0$	0.00046									$\Sigma 0$	0.055
					m0	0.00002									m0	0.002
					A Signifikan (m)	0.00785									A Signifikan (m)	0.086
					A rata2 (m)	0.00506									A rata2 (m)	0.053

45 derajat

ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO ²	Sr(w)	Sr(w)*SM				ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO ²	Sr(w)	Sr(w)*SM
					RAO ² * S(w)										RAO ² * S(w)	
3.6	0.106	0.001497	1	0.01121	1.67825E-05	1.6782E-05				3.6	0.073	0.001497	1	0.005	0.000008048	8.048E-06
3.5	0.145	0.001723	4	0.02091	3.60364E-05	0.00014415				3.5	0.099	0.001723	4	0.010	0.000016936	6.7743E-05
3.4	0.148	0.001991	2	0.02201	4.38312E-05	8.7662E-05				3.4	0.136	0.001991	2	0.018	0.000036576	7.3152E-05
3.3	0.119	0.002311	4	0.01422	3.2862E-05	0.00013145				3.3	0.158	0.002311	4	0.025	0.000057815	0.00023126
3.2	0.092	0.002695	2	0.00838	2.25902E-05	4.518E-05				3.2	0.135	0.002695	2	0.018	0.000049475	9.8949E-05
3.1	0.073	0.0032	4	0.00528	1.66806E-05	6.6722E-05				3.1	0.103	0.0032	4	0.011	0.000033480	0.00013392
3.0	0.060	0.0037	2	0.00360	1.34013E-05	2.6803E-05				3.0	0.080	0.0037	2	0.006	0.000023818	4.7636E-05
2.9	0.051	0.0044	4	0.00263	1.15814E-05	4.6326E-05				2.9	0.065	0.0044	4	0.004	0.000018598	7.4391E-05
2.8	0.045	0.0052	2	0.00202	1.05875E-05	2.1175E-05				2.8	0.055	0.0052	2	0.003	0.000015736	3.1471E-05
2.7	0.040	0.0063	4	0.00161	1.01298E-05	4.0519E-05				2.7	0.047	0.0063	4	0.002	0.000014189	5.6757E-05
2.6	0.036	0.0076	2	0.00133	1.0066E-05	2.0132E-05				2.6	0.042	0.0076	2	0.002	0.000013464	2.6927E-05
2.5	0.034	0.0092	4	0.00113	1.04609E-05	4.1844E-05				2.5	0.038	0.0092	4	0.001	0.000013321	5.3285E-05
2.4	0.031	0.0113	2	0.00099	1.11836E-05	2.2367E-05				2.4	0.035	0.0113	2	0.001	0.000013657	2.7314E-05
2.3	0.030	0.0140	4	0.00090	1.25633E-05	5.0253E-05				2.3	0.032	0.0140	4	0.001	0.000014442	5.777E-05
2.2	0.028	0.0174	2	0.00081	1.41056E-05	2.8211E-05				2.2	0.030	0.0174	2	0.001	0.000015706	3.1412E-05
2.1	0.028	0.0219	4	0.00076	1.66901E-05	6.676E-05				2.1	0.028	0.0219	4	0.001	0.000017527	7.0107E-05
2.0	0.031	0.0279	2	0.00094	2.63297E-05	5.2659E-05				2.0	0.031	0.0279	2	0.001	0.000027417	5.4833E-05
1.9	0.030	0.0360	4	0.00090	3.24364E-05	0.00012975				1.9	0.030	0.0360	4	0.001	0.000031728	0.00012691
1.8	0.029	0.0469	2	0.00087	4.0708E-05	8.1416E-05				1.8	0.028	0.0469	2	0.001	0.000037584	7.5168E-05
1.7	0.029	0.0621	4	0.00084	5.21668E-05	0.00020867				1.7	0.027	0.0621	4	0.001	0.000045573	0.00018229
1.6	0.029	0.0835	1	0.00082	6.83042E-05	6.8304E-05				1.6	0.026	0.0835	1	0.001	0.000056587	5.6587E-05
					$\Sigma 0$	0.00140									$\Sigma 0$	0.002
					m0	0.00005									m0	0.000
					A Signifikan (m)	0.01365									A Signifikan (m)	0.015
					A rata2 (m)	0.00880									A rata2 (m)	0.009

90 derajat

ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO^2	Sr(w)	Sr(w)*SM					ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO^2	Sr(w)	Sr(w)*SM					
					RAO^2 * S(w)											RAO^2 * S(w)						
3.6	0.110	0.001497	1	0.01217	1.82101E-05	1.82E-05					3.6	0.071	0.001497	1	0.005	0.00000754	7.537E-06					
3.5	0.143	0.001723	4	0.02037	3.50944E-05	0.00014					3.5	0.095	0.001723	4	0.009	0.00001566	6.263E-05					
3.4	0.146	0.001991	2	0.02121	4.22395E-05	8.45E-05					3.4	0.129	0.001991	2	0.017	0.00003339	6.677E-05					
3.3	0.124	0.002311	4	0.01543	3.56576E-05	0.000143					3.3	0.150	0.002311	4	0.023	0.00005211	0.0002084					
3.2	0.095	0.002695	2	0.00900	2.42586E-05	4.85E-05					3.2	0.128	0.002695	2	0.016	0.00004403	8.806E-05					
3.1	0.075	0.0032	4	0.00564	1.78171E-05	7.13E-05					3.1	0.097	0.0032	4	0.009	0.00002943	0.0001177					
3.0	0.062	0.0037	2	0.00381	1.41679E-05	2.83E-05					3.0	0.075	0.0037	2	0.006	0.00002067	4.135E-05					
2.9	0.052	0.0044	4	0.00274	1.20884E-05	4.84E-05					2.9	0.060	0.0044	4	0.004	0.00001594	6.378E-05					
2.8	0.046	0.0052	2	0.00208	1.09252E-05	2.19E-05					2.8	0.050	0.0052	2	0.003	0.00001333	2.665E-05					
2.7	0.041	0.0063	4	0.00164	1.03218E-05	4.13E-05					2.7	0.043	0.0063	4	0.002	0.00001187	4.748E-05					
2.6	0.037	0.0076	2	0.00134	1.01416E-05	2.03E-05					2.6	0.038	0.0076	2	0.001	0.00001113	2.225E-05					
2.5	0.033	0.0092	4	0.00111	1.02809E-05	4.11E-05					2.5	0.034	0.0092	4	0.001	0.00001088	4.351E-05					
2.4	0.031	0.0113	2	0.00095	1.0738E-05	2.15E-05					2.4	0.031	0.0113	2	0.001	0.00001102	2.204E-05					
2.3	0.029	0.0140	4	0.00082	1.14952E-05	4.6E-05					2.3	0.029	0.0140	4	0.001	0.00001151	4.605E-05					
2.2	0.027	0.0174	2	0.00072	1.26202E-05	2.52E-05					2.2	0.027	0.0174	2	0.001	0.00001237	2.475E-05					
2.1	0.025	0.0219	4	0.00065	1.41737E-05	5.67E-05					2.1	0.025	0.0219	4	0.001	0.00001365	5.458E-05					
2.0	0.024	0.0279	2	0.00058	1.61307E-05	3.23E-05					2.0	0.024	0.0279	2	0.001	0.00001542	3.084E-05					
1.9	0.023	0.0360	4	0.00053	1.89236E-05	7.57E-05					1.9	0.022	0.0360	4	0.000	0.00001785	7.139E-05					
1.8	0.022	0.0469	2	0.00048	2.26857E-05	4.54E-05					1.8	0.021	0.0469	2	0.000	0.00002114	4.228E-05					
1.7	0.021	0.0621	4	0.00045	2.77997E-05	0.000111					1.7	0.020	0.0621	4	0.000	0.00002563	0.0001025					
1.6	0.020	0.0835	1	0.00042	3.48429E-05	3.48E-05					1.6	0.020	0.0835	1	0.000	0.00003183	3.183E-05					
					$\Sigma 0$	0.00116										$\Sigma 0$	0.001					
					m0	0.00004										m0	0.000					
					A Signifikan (m)	0.01241										A Signifikan (m)	0.013					
					A rata2 (m)	0.00801										A rata2 (m)	0.008					

135 derajat

ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO^2	Sr(w)	Sr(w)*SM					ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO^2	Sr(w)	Sr(w)*SM					
					RAO^2 * S(w)											RAO^2 * S(w)						
3.6	0.096	0.001497	1	0.00914	1.36778E-05	1.3678E-05					3.6	0.033	0.001497	1	0.001	0.000001641	1.641E-06					
3.5	0.133	0.001723	4	0.01774	3.05711E-05	0.00012228					3.5	0.048	0.001723	4	0.002	0.000003915	1.566E-05					
3.4	0.146	0.001991	2	0.02121	4.22395E-05	8.4479E-05					3.4	0.069	0.001991	2	0.005	0.000009497	1.899E-05					
3.3	0.124	0.002311	4	0.01543	3.56576E-05	0.00014263					3.3	0.085	0.002311	4	0.007	0.000016733	6.693E-05					
3.2	0.100	0.002695	2	0.00992	2.67451E-05	5.349E-05					3.2	0.077	0.002695	2	0.006	0.000015852	3.17E-05					
3.1	0.079	0.0032	4	0.00623	1.96853E-05	7.8741E-05					3.1	0.062	0.0032	4	0.004	0.000011952	4.781E-05					
3.0	0.065	0.0037	2	0.00423	1.57279E-05	3.1456E-05					3.0	0.050	0.0037	2	0.002	0.000009189	1.838E-05					
2.9	0.056	0.0044	4	0.00308	1.35787E-05	5.4315E-05					2.9	0.040	0.0044	4	0.002	0.000007086	2.835E-05					
2.8	0.049	0.0052	2	0.00236	1.24014E-05	2.4803E-05					2.8	0.037	0.0052	2	0.001	0.000007166	1.433E-05					
2.7	0.043	0.0063	4	0.00188	1.1854E-05	4.7416E-05					2.7	0.032	0.0063	4	0.001	0.000006384	2.553E-05					
2.6	0.039	0.0076	2	0.00155	1.17682E-05	2.3536E-05					2.6	0.029	0.0076	2	0.001	0.000006540	1.308E-05					
2.5	0.036	0.0092	4	0.00131	1.20681E-05	4.8272E-05					2.5	0.027	0.0092	4	0.001	0.000006846	2.738E-05					
2.4	0.034	0.0113	2	0.00113	1.27341E-05	2.5468E-05					2.4	0.026	0.0113	2	0.001	0.000007408	1.482E-05					
2.3	0.031	0.0140	4	0.00099	1.37883E-05	5.5153E-05					2.3	0.024	0.0140	4	0.001	0.000008253	3.301E-05					
2.2	0.029	0.0174	2	0.00087	1.51189E-05	3.0238E-05					2.2	0.023	0.0174	2	0.001	0.000009437	1.887E-05					
2.1	0.028	0.0219	4	0.00078	1.7036E-05	6.8144E-05					2.1	0.022	0.0219	4	0.001	0.000011053	4.421E-05					
2.0	0.031	0.0279	2	0.00094	2.62269E-05	5.2454E-05					2.0	0.020	0.0279	2	0.000	0.000011583	2.317E-05					
1.9	0.030	0.0360	4	0.00090	3.24364E-05	0.00012975					1.9	0.021	0.0360	4	0.000	0.000015547	6.219E-05					
1.8	0.029	0.0469	2	0.00087	4.0708E-05	8.1416E-05					1.8	0.021	0.0469	2	0.000	0.000021141	4.228E-05					
1.7	0.029	0.0621	4	0.00084	5.21668E-05	0.00020867					1.7	0.022	0.0621	4	0.000	0.000029167	0.0001167					
1.6	0.029	0.0835	1	0.00082	6.83042E-05	6.8304E-05					1.6	0.022	0.0835	1	0.000	0.000040884	4.088E-05					
					$\Sigma 0$	0.00144										$\Sigma 0$	0.001					
					m0	0.00005										m0	0.000					
					A Signifikan (m)	0.01388										A Signifikan (m)	0.010					
					A rata2 (m)	0.00895										A rata2 (m)	0.006					

180 derajat

ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO^2	Sr(w)	Sr(w)*SM	ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO^2	Sr(w)	Sr(w)*SM
					RAO^2 * S(w)							RAO^2 * S(w)	
3.6	0.118	0.001497	1	0.01384	2.07191E-05	2.0719E-05	3.6	0.085	0.001497	1	0.007	0.00001085	1.085E-05
3.5	0.162	0.001723	4	0.02616	4.50768E-05	0.00018031	3.5	0.121	0.001723	4	0.015	0.00002512	0.0001005
3.4	0.175	0.001991	2	0.03054	6.08249E-05	0.00012165	3.4	0.164	0.001991	2	0.027	0.00005357	0.0001071
3.3	0.147	0.002311	4	0.02175	5.02827E-05	0.00020113	3.3	0.200	0.002311	4	0.040	0.00009264	0.0003705
3.2	0.119	0.002695	2	0.01406	3.79041E-05	7.5808E-05	3.2	0.170	0.002695	2	0.029	0.00007828	0.0001566
3.1	0.099	0.0032	4	0.00980	3.09483E-05	0.00012379	3.1	0.135	0.0032	4	0.018	0.00005767	0.0002307
3.0	0.082	0.0037	2	0.00665	2.47497E-05	4.9499E-05	3.0	0.109	0.0037	2	0.012	0.00004447	8.895E-05
2.9	0.069	0.0044	4	0.00482	2.12167E-05	8.4867E-05	2.9	0.092	0.0044	4	0.009	0.00003749	0.0001499
2.8	0.061	0.0052	2	0.00367	1.92415E-05	3.8483E-05	2.8	0.081	0.0052	2	0.007	0.00003411	6.823E-05
2.7	0.054	0.0063	4	0.00289	1.81789E-05	7.2715E-05	2.7	0.072	0.0063	4	0.005	0.00003297	0.0001319
2.6	0.048	0.0076	2	0.00235	1.78392E-05	3.5678E-05	2.6	0.066	0.0076	2	0.004	0.00003343	6.686E-05
2.5	0.044	0.0092	4	0.00196	1.80842E-05	7.2337E-05	2.5	0.062	0.0092	4	0.004	0.00003524	0.000141
2.4	0.041	0.0113	2	0.00168	1.89534E-05	3.7907E-05	2.4	0.058	0.0113	2	0.003	0.00003839	7.678E-05
2.3	0.038	0.0140	4	0.00145	2.029E-05	8.116E-05	2.3	0.056	0.0140	4	0.003	0.00004303	0.0001721
2.2	0.036	0.0174	2	0.00128	2.2248E-05	4.4496E-05	2.2	0.053	0.0174	2	0.003	0.00004949	9.898E-05
2.1	0.034	0.0219	4	0.00114	2.49555E-05	9.9822E-05	2.1	0.052	0.0219	4	0.003	0.00005828	0.0002331
2.0	0.042	0.0279	2	0.00178	4.96736E-05	9.9347E-05	2.0	0.050	0.0279	2	0.003	0.00007019	0.0001404
1.9	0.041	0.0360	4	0.00166	5.97426E-05	0.00023897	1.9	0.049	0.0360	4	0.002	0.00008638	0.0003455
1.8	0.040	0.0469	2	0.00158	7.40626E-05	0.00014813	1.8	0.048	0.0469	2	0.002	0.00010862	0.0002172
1.7	0.039	0.0621	4	0.00151	9.37978E-05	0.00037519	1.7	0.047	0.0621	4	0.002	0.00013957	0.0005583
1.6	0.038	0.0835	1	0.00145	0.00012143	0.00012143	1.6	0.047	0.0835	1	0.002	0.00018334	0.0001833
					Σ0	0.00232						Σ0	0.004
					m0	0.00008						m0	0.000
					A Signifikan (m)	0.01760						A Signifikan (m)	0.022
					A rata2 (m)	0.01135						A rata2 (m)	0.014

225 derajat

ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO^2	Sr(w)	Sr(w)*SM	ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO^2	Sr(w)	Sr(w)*SM
					RAO^2 * S(w)							RAO^2 * S(w)	
3.6	0.096	0.001497	1	0.00914	1.36778E-05	1.3678E-05	3.6	0.031	0.001497	1	0.001	0.000001415	1.415E-06
3.5	0.124	0.001723	4	0.01530	2.63598E-05	0.00010544	3.5	0.044	0.001723	4	0.002	0.000003410	1.364E-05
3.4	0.136	0.001991	2	0.01848	3.67953E-05	7.3591E-05	3.4	0.065	0.001991	2	0.004	0.000008347	1.669E-05
3.3	0.109	0.002311	4	0.01181	2.73003E-05	0.0001092	3.3	0.080	0.002311	4	0.006	0.000014822	5.929E-05
3.2	0.089	0.002695	2	0.00791	2.13211E-05	4.2642E-05	3.2	0.072	0.002695	2	0.005	0.000014139	2.828E-05
3.1	0.078	0.0032	4	0.00610	1.92672E-05	7.7069E-05	3.1	0.058	0.0032	4	0.003	0.000010593	4.237E-05
3.0	0.065	0.0037	2	0.00418	1.55423E-05	3.1085E-05	3.0	0.047	0.0037	2	0.002	0.000008293	1.659E-05
2.9	0.055	0.0044	4	0.00305	1.34194E-05	5.3678E-05	2.9	0.040	0.0044	4	0.002	0.000007086	2.835E-05
2.8	0.048	0.0052	2	0.00231	1.2113E-05	2.4226E-05	2.8	0.035	0.0052	2	0.001	0.000006530	1.306E-05
2.7	0.043	0.0063	4	0.00182	1.14441E-05	4.5776E-05	2.7	0.032	0.0063	4	0.001	0.000006384	2.553E-05
2.6	0.039	0.0076	2	0.00150	1.13636E-05	2.2727E-05	2.6	0.029	0.0076	2	0.001	0.000006540	1.308E-05
2.5	0.035	0.0092	4	0.00125	1.15196E-05	4.6078E-05	2.5	0.027	0.0092	4	0.001	0.000006961	2.785E-05
2.4	0.033	0.0113	2	0.00108	1.21586E-05	2.4317E-05	2.4	0.026	0.0113	2	0.001	0.000007651	1.53E-05
2.3	0.031	0.0140	4	0.00094	1.31687E-05	5.2675E-05	2.3	0.025	0.0140	4	0.001	0.000008648	3.459E-05
2.2	0.029	0.0174	2	0.00084	1.46079E-05	2.9216E-05	2.2	0.024	0.0174	2	0.001	0.000010022	2.004E-05
2.1	0.028	0.0219	4	0.00076	1.6671E-05	6.6684E-05	2.1	0.023	0.0219	4	0.001	0.000011887	4.755E-05
2.0	0.030	0.0279	2	0.00093	2.59454E-05	5.1891E-05	2.0	0.025	0.0279	2	0.001	0.000017547	3.509E-05
1.9	0.030	0.0360	4	0.00090	3.24364E-05	0.00012975	1.9	0.025	0.0360	4	0.001	0.000022923	9.169E-05
1.8	0.030	0.0469	2	0.00091	4.26234E-05	8.5247E-05	1.8	0.025	0.0469	2	0.001	0.000030443	6.089E-05
1.7	0.030	0.0621	4	0.00092	5.7017E-05	0.00022807	1.7	0.026	0.0621	4	0.001	0.000041130	0.0001645
1.6	0.031	0.0835	1	0.00093	7.7715E-05	7.7715E-05	1.6	0.026	0.0835	1	0.001	0.000056587	5.659E-05
					Σ0	0.00139						Σ0	0.001
					m0	0.00005						m0	0.000
					A Signifikan (m)	0.01362						A Signifikan (m)	0.010
					A rata2 (m)	0.00878						A rata2 (m)	0.007

270 derajat

ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO^2	Sr(w)	Sr(w)*SM	ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO^2	Sr(w)	Sr(w)*SM
					RAO^2 * S(w)	RAO^2 * S(w)						RAO^2 * S(w)	RAO^2 * S(w)
3.6	0.117	0.001497	1	0.01367	2.04609E-05	2.0461E-05	3.6	0.057	0.001497	1	0.003	0.000004824	4.824E-06
3.5	0.152	0.001723	4	0.02317	3.99296E-05	0.00015972	3.5	0.076	0.001723	4	0.006	0.000010021	4.008E-05
3.4	0.155	0.001991	2	0.02416	4.81193E-05	9.6239E-05	3.4	0.104	0.001991	2	0.011	0.000021368	4.274E-05
3.3	0.124	0.002311	4	0.01547	3.57468E-05	0.00014299	3.3	0.120	0.002311	4	0.014	0.000033349	0.0001334
3.2	0.095	0.002695	2	0.00903	2.43497E-05	4.8699E-05	3.2	0.102	0.002695	2	0.010	0.000028181	5.636E-05
3.1	0.075	0.0032	4	0.00564	1.78171E-05	7.1268E-05	3.1	0.079	0.0032	4	0.006	0.000019465	7.786E-05
3.0	0.062	0.0037	2	0.00381	1.41856E-05	2.8371E-05	3.0	0.065	0.0037	2	0.004	0.000015529	3.106E-05
2.9	0.052	0.0044	4	0.00275	1.21186E-05	4.8474E-05	2.9	0.056	0.0044	4	0.003	0.000013889	5.556E-05
2.8	0.046	0.0052	2	0.00209	1.09524E-05	2.1905E-05	2.8	0.050	0.0052	2	0.003	0.000013326	2.665E-05
2.7	0.041	0.0063	4	0.00165	1.03605E-05	4.1442E-05	2.7	0.046	0.0063	4	0.002	0.000013506	5.402E-05
2.6	0.037	0.0076	2	0.00134	1.01795E-05	2.0359E-05	2.6	0.043	0.0076	2	0.002	0.000014292	2.858E-05
2.5	0.033	0.0092	4	0.00112	1.03321E-05	4.1329E-05	2.5	0.041	0.0092	4	0.002	0.000015663	6.265E-05
2.4	0.031	0.0113	2	0.00095	1.07781E-05	2.1556E-05	2.4	0.040	0.0113	2	0.002	0.000017678	3.366E-05
2.3	0.029	0.0140	4	0.00083	1.15382E-05	4.6153E-05	2.3	0.038	0.0140	4	0.001	0.000020468	8.187E-05
2.2	0.027	0.0174	2	0.00073	1.26516E-05	2.5303E-05	2.2	0.037	0.0174	2	0.001	0.000024251	4.85E-05
2.1	0.025	0.0219	4	0.00065	1.42089E-05	5.6836E-05	2.1	0.037	0.0219	4	0.001	0.000029353	0.0001174
2.0	0.024	0.0279	2	0.00058	1.62921E-05	3.2584E-05	2.0	0.034	0.0279	2	0.001	0.000033174	6.635E-05
1.9	0.023	0.0360	4	0.00053	1.91128E-05	7.6451E-05	1.9	0.034	0.0360	4	0.001	0.000041960	0.0001678
1.8	0.022	0.0469	2	0.00049	2.29124E-05	4.5825E-05	1.8	0.034	0.0469	2	0.001	0.000054121	0.0001082
1.7	0.021	0.0621	4	0.00045	2.80773E-05	0.00011231	1.7	0.034	0.0621	4	0.001	0.000071208	0.0002848
1.6	0.021	0.0835	1	0.00042	3.51907E-05	3.5191E-05	1.6	0.034	0.0835	1	0.001	0.000095632	9.563E-05
					$\Sigma 0$	0.00119						$\Sigma 0$	0.002
					m0	0.00004						m0	0.000
					A Signifikan (m)	0.01261						A Signifikan (m)	0.015
					A rata2 (m)	0.00814						A rata2 (m)	0.009

315 derajat

ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO^2	Sr(w)	Sr(w)*SM	ω (rad/s)	RAO Sway (m/m)	S(w)	SM	RAO^2	Sr(w)	Sr(w)*SM
					RAO^2 * S(w)	RAO^2 * S(w)						Sr(w)	Sr(w)*SM
3.6	0.088	0.001497	1	0.00779	1.16545E-05	1.1654E-05	3.6	0.050	0.001497	1	0.002	0.00000369	3.693E-06
3.5	0.124	0.001723	4	0.01530	2.63598E-05	0.00010544	3.5	0.070	0.001723	4	0.005	0.00000842	3.368E-05
3.4	0.136	0.001991	2	0.01848	3.67953E-05	7.3591E-05	3.4	0.099	0.001991	2	0.010	0.00001962	3.925E-05
3.3	0.116	0.002311	4	0.01356	3.13397E-05	0.00012536	3.3	0.120	0.002311	4	0.014	0.00003335	0.0001334
3.2	0.095	0.002695	2	0.00900	2.42586E-05	4.8517E-05	3.2	0.107	0.002695	2	0.011	0.00003058	6.116E-05
3.1	0.080	0.0032	4	0.00634	2.00371E-05	8.0149E-05	3.1	0.084	0.0032	4	0.007	0.00002210	8.841E-05
3.0	0.066	0.0037	2	0.00433	1.61024E-05	3.2205E-05	3.0	0.067	0.0037	2	0.005	0.00001675	3.349E-05
2.9	0.056	0.0044	4	0.00316	1.39001E-05	5.56E-05	2.9	0.056	0.0044	4	0.003	0.00001389	5.556E-05
2.8	0.049	0.0052	2	0.00242	1.26932E-05	2.5386E-05	2.8	0.049	0.0052	2	0.002	0.00001245	2.49E-05
2.7	0.044	0.0063	4	0.00193	1.21313E-05	4.8525E-05	2.7	0.043	0.0063	4	0.002	0.00001187	4.748E-05
2.6	0.040	0.0076	2	0.00159	1.20418E-05	2.4084E-05	2.6	0.040	0.0076	2	0.002	0.00001188	2.376E-05
2.5	0.036	0.0092	4	0.00132	1.22072E-05	4.8829E-05	2.5	0.037	0.0092	4	0.001	0.00001238	4.95E-05
2.4	0.034	0.0113	2	0.00114	1.288E-05	2.576E-05	2.4	0.034	0.0113	2	0.001	0.00001333	2.666E-05
2.3	0.031	0.0140	4	0.00099	1.37883E-05	5.5153E-05	2.3	0.033	0.0140	4	0.001	0.00001479	5.915E-05
2.2	0.029	0.0174	2	0.00087	1.51189E-05	3.0238E-05	2.2	0.031	0.0174	2	0.001	0.00001684	3.368E-05
2.1	0.028	0.0219	4	0.00077	1.69974E-05	6.799E-05	2.1	0.030	0.0219	4	0.001	0.00001965	7.86E-05
2.0	0.030	0.0279	2	0.00092	2.57925E-05	5.1585E-05	2.0	0.030	0.0279	2	0.001	0.00002474	4.949E-05
1.9	0.030	0.0360	4	0.00090	3.24364E-05	0.00012975	1.9	0.030	0.0360	4	0.001	0.00003173	0.0001269
1.8	0.030	0.0469	2	0.00091	4.26234E-05	8.5247E-05	1.8	0.030	0.0469	2	0.001	0.00004144	8.287E-05
1.7	0.030	0.0621	4	0.00092	5.7017E-05	0.00022807	1.7	0.030	0.0621	4	0.001	0.00005514	0.0002206
1.6	0.031	0.0835	1	0.00093	7.7715E-05	7.7715E-05	1.6	0.030	0.0835	1	0.001	0.00007484	7.484E-05
					$\Sigma 0$	0.00143						$\Sigma 0$	0.001
					m0	0.00005						m0	0.000
					A Signifikan (m)	0.01381						A Signifikan (m)	0.013
					A rata2 (m)	0.00891						A rata2 (m)	0.008

4. Perhitungan Respon Gerak Struktur Pada Proses Simulasi Mitigasi

0 derajat

<i>sebelum mitigasi</i>						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	4.239	0.042	0.424
2	3.5	1.79	0.2	5.720	0.057	0.572
3	3.4	1.85	0.2	7.803	0.078	0.780
4	3.3	1.90	0.2	9.089	0.091	0.909
5	3.2	1.96	0.2	7.771	0.078	0.777
6	3.1	2.03	0.2	5.895	0.059	0.589
7	3.0	2.09	0.2	4.573	0.046	0.457
8	2.9	2.17	0.2	3.730	0.037	0.373
9	2.8	2.24	0.2	3.158	0.032	0.316
10	2.7	2.33	0.2	2.751	0.028	0.275
11	2.6	2.42	0.2	2.450	0.025	0.245
12	2.5	2.51	0.2	2.220	0.022	0.222
13	2.4	2.62	0.2	2.040	0.020	0.204
14	2.3	2.73	0.2	1.895	0.019	0.189
15	2.2	2.85	0.2	1.777	0.018	0.178
16	2.1	2.99	0.2	1.663	0.017	0.166
17	2.0	3.14	0.2	1.567	0.016	0.157
18	1.9	3.31	0.2	1.485	0.015	0.149
19	1.8	3.49	0.2	1.415	0.014	0.141
20	1.7	3.69	0.2	1.354	0.014	0.135
21	1.6	3.93	0.2	1.302	0.013	0.130

<i>mitigasi</i>						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	1.615	0.016	0.161
2	3.5	1.79	0.2	1.981	0.020	0.198
3	3.4	1.85	0.2	1.845	0.018	0.185
4	3.3	1.90	0.2	1.440	0.014	0.144
5	3.2	1.96	0.2	1.160	0.012	0.116
6	3.1	2.03	0.2	0.929	0.009	0.093
7	3.0	2.09	0.2	0.808	0.008	0.081
8	2.9	2.17	0.2	0.692	0.007	0.069
9	2.8	2.24	0.2	0.634	0.006	0.063
10	2.7	2.33	0.2	0.566	0.006	0.057
11	2.6	2.42	0.2	0.534	0.005	0.053
12	2.5	2.51	0.2	0.490	0.005	0.049
13	2.4	2.62	0.2	0.472	0.005	0.047
14	2.3	2.73	0.2	0.440	0.004	0.044
15	2.2	2.85	0.2	0.430	0.004	0.043
16	2.1	2.99	0.2	0.407	0.004	0.041
17	2.0	3.14	0.2	0.401	0.004	0.040
18	1.9	3.31	0.2	0.383	0.004	0.038
19	1.8	3.49	0.2	0.381	0.004	0.038
20	1.7	3.69	0.2	0.367	0.004	0.037
21	1.6	3.93	0.2	0.367	0.004	0.037

180 derajat

<i>sebelum mitigasi</i>						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	0.852	0.009	0.085
2	3.5	1.79	0.2	1.208	0.012	0.121
3	3.4	1.85	0.2	1.640	0.016	0.164
4	3.3	1.90	0.2	2.002	0.020	0.200
5	3.2	1.96	0.2	1.704	0.017	0.170
6	3.1	2.03	0.2	1.351	0.014	0.135
7	3.0	2.09	0.2	1.093	0.011	0.109
8	2.9	2.17	0.2	0.923	0.009	0.092
9	2.8	2.24	0.2	0.806	0.008	0.081
10	2.7	2.33	0.2	0.724	0.007	0.072
11	2.6	2.42	0.2	0.664	0.007	0.066
12	2.5	2.51	0.2	0.618	0.006	0.062
13	2.4	2.62	0.2	0.583	0.006	0.058
14	2.3	2.73	0.2	0.555	0.006	0.056
15	2.2	2.85	0.2	0.515	0.005	0.052
16	2.1	2.99	0.2	0.482	0.005	0.048
17	2.0	3.14	0.2	0.439	0.004	0.044
18	1.9	3.31	0.2	0.401	0.004	0.040
19	1.8	3.49	0.2	0.368	0.004	0.037
20	1.7	3.69	0.2	0.339	0.003	0.034
21	1.6	3.93	0.2	0.312	0.003	0.031

<i>mitigasi</i>						
No.	ω (rad/s)	T (s)	Hs (m)	u (cm)	u (m)	(m/m)
1	3.6	1.74	0.2	1.130	0.011	0.113
2	3.5	1.79	0.2	1.486	0.015	0.149
3	3.4	1.85	0.2	1.476	0.015	0.148
4	3.3	1.90	0.2	1.219	0.012	0.122
5	3.2	1.96	0.2	0.995	0.010	0.099
6	3.1	2.03	0.2	0.840	0.008	0.084
7	3.0	2.09	0.2	0.735	0.007	0.073
8	2.9	2.17	0.2	0.629	0.006	0.063
9	2.8	2.24	0.2	0.587	0.006	0.059
10	2.7	2.33	0.2	0.524	0.005	0.052
11	2.6	2.42	0.2	0.474	0.005	0.047
12	2.5	2.51	0.2	0.435	0.004	0.043
13	2.4	2.62	0.2	0.403	0.004	0.040
14	2.3	2.73	0.2	0.376	0.004	0.038
15	2.2	2.85	0.2	0.353	0.004	0.035
16	2.1	2.99	0.2	0.334	0.003	0.033
17	2.0	3.14	0.2	0.297	0.003	0.030
18	1.9	3.31	0.2	0.284	0.003	0.028
19	1.8	3.49	0.2	0.272	0.003	0.027
20	1.7	3.69	0.2	0.262	0.003	0.026
21	1.6	3.93	0.2	0.253	0.003	0.025

BIODATA PENULIS



Dyan Harya Pradipta dilahirkan di Kediri pada tanggal 29 Juli 1992. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal TK hingga SMA di Kediri, Jawa Timur, yaitu TK Kemala Bayangkari 41 Kediri lulus tahun 1998, SDN Sukorame II Kediri lulus tahun 2004, SMPN 4 Kediri lulus pada tahun 2007 dan SMAN 1 Kediri lulus tahun 2010. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan dan terdaftar dengan NRP 4311100093. Selama perkuliahan, selain aktif dalam kegiatan akademis, penulis juga aktif dalam keorganisasian dan kepanitiaan pada tingkat Jurusan sampai tingkat Institut, beberapa diantaranya adalah menjabat sebagai staf ahli di departemen sosial masyarakat HIMATEKLA ITS dari tahun 2012-2014 dan kepanitiaan GERIGI ITS 2012. Penulis juga sering mengikuti pelatihan dan seminar yang diadakan oleh jurusan hingga institut. Penulis memiliki pengalaman melaksanakan *On Job Training* selama 1 bulan di PT. ZEE Engineering, BSD Tangerang dan 1 bulan di PT. AQUAMARINE DIVINDO INSPECTION, Sidoarjo. Di akhir masa studi, penulis mengambil Tugas Akhir mengenai analisis pada respon gerak struktur *jacket fixed platform* pasca penambahan beban operasional yang mengambil studi kasus pada Bekapai *Quarters Platform*. Penulis menyelesaikan tugas akhir ini dalam waktu 1 semester.

Contact Person:

dhpradipta.oeits11@gmail.com